

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХНВ

_____ Я. М. Корнієнко
(підпис)

“ ” _____ 20__ р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

на здобуття ступеня бакалавра

за напрямом підготовки: 13 – Машинобудування

спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

на тему: Модернізація конденсатора установки виробництва етилового спирту. Комплексний.

Виконав студент IV курсу, групи ЛН-51

Яцюк Ілля Олександрович

Керівник проекту доцент, канд. техн. наук, І. А. Андрєєв
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:
з охорони праці доцент, канд. техн. наук, І. М. Ковтун
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

з економіки асистент, канд. техн. наук, С. С. Гайдай
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент:
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____ І. О. Яцюк

Київ – 2019

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітній ступінь: бакалавр

Напрямок підготовки: 13 – Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Я. М. Корнієнко

“__” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Яцюку Іллі Олександровичу

1. Тема проекту: Модернізація конденсатора установки виробництва етилового спирту. Комплексний.

Керівник проекту кандидат технічних наук, доцент Андреев І. А.

Затверджена наказом по університету від “__” _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту: 1 червня 2019р.

3. Вихідні дані до проекту: суміш етанол-вода, концентрація етанолу по об’єму 96%; продуктивність по суміші – 2,2 кг/с; температури суміші – 360 К; температура води на вході в конденсатор – 293 К, на виході – 333 К.

4. Зміст пояснювальної записки: а) основна частина: розглянути існуючі конструкції теплообмінників, обґрунтувати вибір конструкції апарата; проаналізувати обрану конструкцію в порівнянні з кращими вітчизняними та світовими аналогами; здійснити

розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції: параметричний, конструктивний та гідравлічний, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкції апарату; виконати складальне креслення конденсатора та його основних складальних одиниць і деталей; розробити рекомендації щодо монтажу та експлуатації конденсатора; здійснити оцінку рівня стандартизації та уніфікації розробки;

б) охорона праці: провести аналіз відповідності апарата до вимог охорони праці, викласти основні вимоги безпечної експлуатації апарата;

в) рекомендації щодо монтажу та експлуатації: надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації конденсатора;

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових

креслеників, плакатів, презентацій тощо): принципова схема установки – А1, кресленик складальний: конденсатор – А1, трубчатка – А3, корпус – А1, кришка – А3, ілюстрація до технічної ідеї патенту – А3, опора рухома – А2.

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І. М.		
Економіка	Гайдай С. С.		

7. Дата видачі завдання: 15 квітня 2019 р.

РЕФЕРАТ

УДК 664.3

Дипломний проект бакалавра на тему «Модернізація конденсатора установки виробництва етилового спирту. Комплексний.» / НТУУ «КПІ»; Керівник І.А. Андреев – К., 2019. – 90 с.: іл. – Викон. І.О.Яцюк – Бібліогр.: с. 119.

Пояснювальна записка складається зі вступу, шести розділів, висновків і списку посилань з 17 найменувань. Загальний обсяг записки становить 80 сторінку основного тексту, 44 рисунки, 15 таблиць.

Мета проекту – модернізація теплообмінних труб конденсатора, з метою покращення ефективності теплообміну.

Записка містить опис технологічного процесу, вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі, технічну характеристику апарата, обґрунтування вибору конструкції апарата, що проектується і принцип дії її основних складальних одиниць та деталей, порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами, патентне дослідження конструкцій апарата. Наведено заходи, щодо охорони праці. Проведено модернізацію установки та визначено очікувані техніко – економічні показники від впровадження модернізації. Проведена модернізація, збільшилась ефективність процесу. Зазначена модернізація може бути рекомендована для впровадження у виробництво. Визначено рівень стандартизації та уніфікації. Розроблено автоматичну схему керуванням процесом.

ЕТАНОЛ, КОНДЕНСАТОР, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ.

РЕФЕРАТ

УДК 664.3

Дипломный проект бакалавра на тему «Модернизация конденсатора установки производства этилового спирта.» / НТУУ «КПИ» Руководитель И. А. Андреев - М., 2019. - 90 с. : ил. - Испол. И. А. Яцюк - Библиогр. : с. 119.

Пояснительная записка состоит из введения, шести глав, заключения и списка ссылок из 17 наименований. Общий объем записки составляет 80 страниц основного текста, 44 рисунка, 15 таблиц.

Цель проекта – модернизация теплообменных труб конденсатора, с целью повышения эффективности теплообмена.

Записка содержит описание технологического процесса, выбор типа аппарата и его место в технологической схеме, техническую характеристику аппарата, обоснование выбора конструкции аппарата, проектируемых и принцип действия ее основных сборочных единиц и деталей, сравнение основных показателей разработанной конструкции с аналогами, патентное исследование конструкций аппарата. Приведены мероприятия по охране труда. Проведена модернизация установки и определены ожидаемые технико - экономические показатели от внедрения модернизации. Проведена модернизация, увеличилась часовая производительность, годовая производительность выхода конечного продукта, уменьшилось потребление электроэнергии. Указанная модернизация может быть рекомендована для внедрения в производство. Определен уровень стандартизации и унификации. Разработан автоматическую схему управлением процессом.

ЭТАНОЛ, КОНДЕНСАТОР, ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ,
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА.

ABSTRACT

UDC 664.3

Diploma project of the bachelor's degree on the theme "Modernization of the condensator of the ethanol production plant" / NTUU "KPI"; Head Y.G. Dvinos - K., 2019. - 80 s. : il. - Vicon. B. A. Rudnitsky - Bibliographer: p. 155

The explanatory note consists of an introduction, six sections, conclusions and a list of references from 17 titles. The total volume of the note is 80 pages of the main text, 44 figures, 15 tables.

The purpose of the project is to modernize the tunnel plate of the distillation column, in order to more fully utilize the area of the dish, and to simplify its design.

The note contains the description of the technological process, the choice of the type of the distillation column and its place in the technological scheme, the technical characteristics of the apparatus, the justification of the choice of design of the device and the principle of its main assembly units and parts, the comparison of the main indicators of the design with the analogues, the patent research structures of the apparatus. The measures on occupational safety are outlined. The modernization of the plant was carried out and the expected technical and economic indicators from the introduction of modernization were determined. Modernization has been carried out, hourly productivity has increased, annual productivity of output of the final product has decreased, the use of electricity has decreased. The said upgrades may be recommended for introduction into production. Levels of standardization and unification are determined. An automatic process control scheme is developed.

ETHANOL, CONDENSATOR, TEMPERATURE MODE, HEAT EXCHANGED SURFACE.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності: 6.050503 «Машинобудування»,

«Машинобудувальні апарати та нафтопереробні виробництва»

на тему: Модернізація конденсатора установки виробництва етанолу.

Комплексний.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	2	3	4
1	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності проекту.	18.09.18	
2	Патентне дослідження. Формування змісту модернізації (на основі зміни технологічної схеми, конструкції апарату, його елементів, речовин).	26.09.18	
3	Оформлення та подання заявки на корисну модель	28.09.18	
4	Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкції випарного апарата. Технічна характеристика установки, апарата. Добір матеріалів.	12.12.18	
5	Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарата. Розрахунок гідравлічного опору апарату.	13.03.19	
6	Розробка складальних креслень апарату і його складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апарата	20.03.19	
7	Розрахунки на міцність. Розробка алгоритмів та програм розрахунку.	15.04.19	
8	Уточнення графічної частини проекту та специфікацій.	25.04.19	
9	Обґрунтування економічної доцільності модернізації.	13.05.19	
10	Розробка вимог до апарата з питань охорони праці.	19.05.19	

1	2	3	4
11	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань.	25.05.19	
12	Попередній захист проекту.	06.06.19	
13	Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту.	07.06.19	

Студент

_____ І.О. Яцюк
(підпис)

Керівник дипломного проекту

_____ І.А. Андреев
(підпис)

Зміст

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	12
Вступ.....	13
1 Призначення та область використання.....	15
1.1 Опис технологічного процесу.....	15
1.2 Вибір типу апарата, його місце в технологічній схемі.....	16
2 Технічна характеристика	18
3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апарату.....	19
3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата...	19
3.2 Вибір матеріалів елементів конструкції апарата	20
3.3 Порівняння основних показників розробленої конструкції апарата з аналогами	21
3.4 Патентне дослідження	22
4 Охорона праці	29
5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата	34
5.1 Параметричний розрахунок конденсатора	34
5.2 Розрахунок діаметра штуцерів.....	39
5.3 Розрахунок гідравлічного опору конденсатора	41
5.4 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішнього надлишкового тиску	43
5.5 Розрахунок фланцевого з'єднання	45
5.6 Перевірка несучої спроможності обичайок горизонтальних апаратів, що сприймають навантаження реакцій сідлових опор.....	51
6 Рекомендації щодо виготовлення, монтажу та експлуатації.....	60
7 Рівень стандартизації та уніфікації	63
8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації	64

					<i>ЛН51.0653402.001 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Яцюк</i>				<i>Модернізація конденсатора установки виробництва етанолу. Комплексний.</i>		
<i>Перев.</i>	<i>Андреев</i>						
<i>Н.Контр.</i>					<i>НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", ІХФ, МАХНВ</i>		
<i>Затв.</i>							
					<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
						7	119

Висновки	69
Выводы	70
Conclusion.....	72
Перелік посилань.....	73
Додаток А Документація до патентного дослідження	75
Додаток Б Комп'ютерний розрахунок елементів апарата.....	76
Додаток В Патенти, які використані в патентному дослідженні	86
Додаток Г Публікації автора.....	87

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

Умовні позначення:

h – висота, м;

D, d - діаметри, м;

δ – товщина, м;

f - площа поперечного перерізу, м²;

G - масова витрата, кг/с;

Q – теплове навантаження, Вт;

P - тиск, Па;

T – температура, К;

r – питома теплота пароутворення, Дж/кг;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К;

ρ – густина, кг/м³;

c – питома теплоємність, Дж/(кг·К);

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с;

σ – поверхневий натяг, Н/м.

Критерії:

Nu - критерій Нуссельта;

Re - критерій Рейнольдса;

Pr- критерій Прандтля.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

На сьогодні у світі існують багато глобальних екологічних проблем, які виникли із початком швидкого розвитку промисловості у XX сторіччі. Тепер суспільство розв'язує задачі по зменшенню негативного впливу виробництва на оточуюче середовище. Одна з основних екологічних проблем – парниковий ефект, який виникає внаслідок значного забруднення атмосфери діоксидом вуглецю, що виникають при спалюванні паливних енергоносіїв. Всі екологічні проблеми мають дуже негативний вплив на суспільство та планету Земля в цілому. Саме тому зменшення негативного впливу на екологію є актуальною задачею хімічної промисловості.

Важливу роль у схемі виробництва відіграє конденсатор, оскільки в ньому відбувається конденсація холодоагенту і передача утвореної енергії високопотенційному теплоносію для подальшого використання в промислових, або побутових задачах. Отже, робота конденсатора визначатиме якість роботи установки в цілому.

Саме тому має місце детальне вивчення, дослідження та оптимізація процесів, які відбуваються у конденсаторі.

Метою даної роботи є модернізація конденсатора для конденсації етилового спирту, який би забезпечив високу ефективність та інтенсивність процесів теплообміну при мінімальних витратах на роботу установки шляхом виконання параметричних розрахунків та розрахунків, що підтверджують працездатність і надійність апарата.

Етанол (етиловий спирт) є одним з найважливіших за значенням і масштабом виробництва органічним продуктом, що випускається хімічною промисловістю. В перше етанол добували ферментацією рослинної речовини. Перший синтетичний метод отримання етилену полягав у каталітичній гідратації етену. Цей спосіб став основою багатьох методів, які використовуються на цей день.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Існують різні способи отримання етилового спирту: пряма та непряма гідратація, отримання ферментацією, добування з крохмалю та цукру, добування з целюлози, інші методи.

Оскільки кінцевим продуктом нашої схеми є етиловий спирт, актуальним буде проектування теплообмінного апарату, що являється одним з найважливіших елементів у технологічній схемі виробництва.

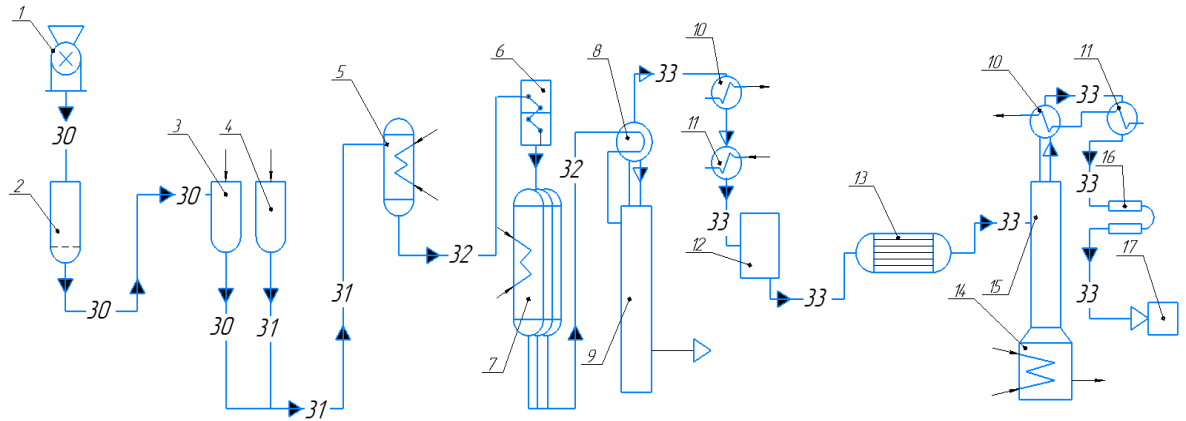
Завдання на проектування одержане під час проходження виробничої практики в інституті газу НАН України 15 квітня 2019 р.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Призначення та область використання апарату

1.1 Опис технологічного процесу

Схема технологічного процесу наведена на рисунку 1.1.



1 – млин; 2 – змішувач; 3 – варильний апарат;

4 – парогенератор; 5 – апарат для збагачення цукром; 6 – холодильник
сусли; 7 – бродильний апарат; 8 – підігрівач; 9 – колона бродіння;

10 – дефлегматор; 11 – конденсатор; 12 – збірник;

13 – кожухотрубний теплообмінник; 14 – куб; 15 – ректифікаційна
колона; 16 – теплообмінник «труба в трубі»; 17 – збірник.

Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення етилового спирту

Сировину завантажують до млину 1 за допомогою транспорту, де вона подрібнюється. Транспортером сировина надходить до змішувача 2 для очищення від домішок. Далі сировина за допомогою насоса перекачується до варильного апарата 3, де відбувається теплова обробка з водою для руйнування клітинної структури та розчинення крохмалю. Після цього отримана маса потрапляє до парогенератора 4 для подальшого нагрівання. Після підігрівання за допомогою транспортера маса потрапляє до апарата 5, де крохмаль під дією ферментів збагачується цукром. Після чого, збагачена цукром суміш надходить для охолодження до холодильника сусли 6 і відразу потрапляє до бродильного апарату

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

7, де для отримання зрілої браги, мальтоза під дією дріжджів зброджується в етиловий спирт і вуглекислий газ. Далі брага підігрівається в апараті 8, після чого, шляхом її перегонки з паром в колоні бродіння 9, з підігрітої браги виділяється спирт. В дефлегматорі 10 відбувається часткова конденсація продукту, який далі надходить в конденсатор 11. Після конденсації продукт збирається в збірнику спирту-сировини 12, після чого в кожухотрубному теплообміннику 13 цей продукт підігрівається до температури кипіння і подається в ректифікаційну колону 15 для виділення концентрованого етилового спирту. Після ректифікаційної колони, отриманий спирт конденсується в конденсаторі 13 і охолоджується до температури навколишнього середовища в теплообміннику «труба в трубі» 16. Після охолодження етиловий спирт збирається в збірниках спирту 17.

1.2 Вибір типу конденсатора та його місце в технологічній схемі

Метою даної роботи є розробка теплообмінника для конденсації етилового спирту.

Основною задачею є вибір принципової конструкції конденсатора, яка б забезпечувала найкращі умови протікання теплових процесів у ньому, при цьому реалізуючи водночас просту та компактність конструкції.

Отже, в цьому випадку доцільно застосовувати кожухотрубні теплообмінники. Пара що конденсується, надходить в міжтрубний простір, а охолоджуюча вода в трубний простір. Різниця середніх температур теплоносіїв не перевищує 50°, тому можна приймати жорстку конструкцію без компенсаторів температурних деформацій.

В технологічній схемі конденсатор встановлений після ректифікаційної колони для конденсації парів етанолу.

Використання в якості конденсатора кожухотрубного теплообмінника дає ряд переваг, з яких найголовнішими є:

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- здатність кожухотрубних теплообмінних апаратів працювати із забрудненими середовищами;
- стійкість даного типу теплообмінників до гідроударів;
- висока ефективність кожухотрубних теплообмінників.

Таким чином, можна з упевненістю говорити про те, що кожухотрубні теплообмінники є одними з найнадійніших, довговічних і високоефективних агрегатів. Саме тому, даний тип теплообмінників влаштовує нас в якості конденсатора парів етилового спирту.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

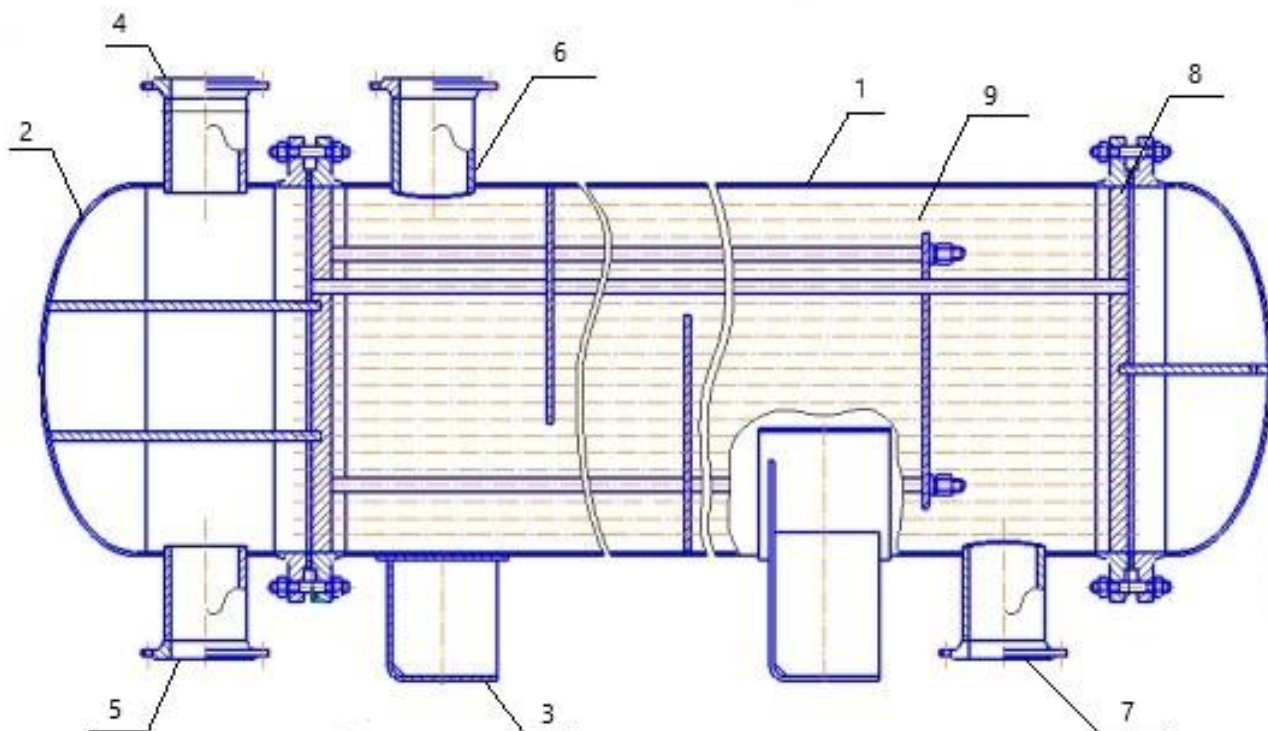
2. Технічна характеристика апарата

Робоча речовина:	
у трубному просторі	вода;
у міжтрубному просторі	етанол;
Продуктивність метанолу, кг/с:	2,2;
Розрахунковий тиск, МПа:	0,1;
Температура конденсації етанолу, Т, К:	349;
Температура води, Т, К:	
Початкова	291;
Кінцева	331;
Номінальний розмір несучої труби	25x3;
Габаритні розміри:	
— довжина, м	3,61;
— ширина, м	0,72;
— висота, м	0,965;
Довжина труб апарата, м	3.

3. Опис та обґрунтування вибраної конструкції конденсатора

3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата

Схема конденсатора наведена на рисунку 3.1.



1 – кожух; 2 – кришка; 3 – опора; 4 – штуцер для входу охолоджуваної рідини; 5 – штуцер для виходу рідини; 6 – штуцер для входу парів етанолу, 7 – штуцер для виходу конденсату; 8 – трубна решітка; 9 – теплообмінні труби.

Рисунок 3.1 – Кожухотрубний конденсатор

На рисунку 3.1 зображено горизонтальний кожухотрубний конденсатор з нерухомими трубними решітками, в яких жорстко закріплені труби. Решітки приварені до кожуха, що забезпечує виключення можливості взаємного переміщення кожуха і труб. До кожуха за допомогою болтів і прокладок кріпляться кришки. Один з теплоносіїв рухається по трубах, а інший – в просторі між кожухом і трубами. Теплота від одного теплоносія передається іншому через поверхню стінок труб.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Ущільнення досягається установкою прокладок. Для вводу та виводу теплоносіїв до кожуха і кришок приварюють патрубки. Щільність з'єднання труб з трубою решіткою забезпечується зварюванням.

При конструюванні теплообмінного апарата визначаються основні вимоги: забезпечити найбільш високий коефіцієнт теплопередачі при якомога меншому гідравлічному опорі; компактність і мінімальні витрати матеріалів; герметичність і надійність конструкції; уніфікація деталей;

Інтенсивність теплообміну характеризується коефіцієнтом теплопередачі K . На ефективність і інтенсивність процесу впливають такі фактори, як: середній температурний напір; форма поверхні теплообміну; еквівалентний діаметр і компонування каналів, що забезпечить оптимальні швидкості руху середовищ; наявність турбулізуючих елементів у каналах тощо.

3.2 Вибір матеріалів елементів конструкції апарата

Вода та етанол не є корозійно-активними речовинами, тому всі складальні одиниці та деталі (днище, трубні решітки, пучок труб, фланці апарата, обичайка корпусу, поперечні перегородки, опори) виготовляються із сталі Сталь20 [2].

Болти виготовляються із вуглецевої сталі марки Ст5 (ГОСТ 380-94), які використовуються для деталей машин з підвищеними вимогами.

Шайби виготовляються із сталі Ст3 (ГОСТ 380-94); межа міцності такої сталі при розтягуванні не менше 380 МПа.

Прокладки виготовляються із пароніту ПОН-А. Прокладка такого типу використовується при температурі $-200 \dots 400^{\circ}\text{C}$ та умовному тиску, який не перевищує 2,5 МПа

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

3.3 Порівняння основних показників розробленої конструкції апарата з аналогами

В залежності від принципу, який покладено в основу, класифікація конденсаторів може бути різною.

В залежності від виду середовища конденсатори розділяють на наступні групи [3]:

- 1) з газовим, переважно повітряним охолодженням;
- 2) з рідким, переважно водним охолодженням;
- 3) з рідинно-газовим, переважно водно-повітряним охолодженням;

В залежності від подачі холодоагенту в апарат, його конденсація може відбуватись по зовнішній поверхні – кожухотрубні конденсатори; та в трубах та каналах – змієвикові, пластинчасті конденсатори.

В залежності від умов циркуляції рідини, що охолоджується, розрізняють конденсатори двох типів:

- 1) із закритою системою циркуляції рідини, що нагрівається, яка перекачується насосом (кожухотрубні та змієвикові конденсатори);
- 2) з відкритим рівнем рідини, що нагрівається, циркуляція якої у конденсаторі створюється мішалкою;

За характером руху холодоагенту можуть бути конденсатори із природною та вимушеною циркуляцією.

Порівняльні дані наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльні дані апарата, що проектується і аналога

Параметри	Апарат, який проектується	Спіральний т.о.	Пластинчатий т.о.
Продуктивність, кг/сек	121(4)	121(4)	122(4)
Поверхня теплообміну, м ² (бали)	49 (4)	38 (2)	56 (5)
Маса апарату, кг (бали)	2500 (3)	2300 (3)	1800 (4)
Складність конструкції, (бали)	Проста(4)	Складна(3)	Складна (2)
Ціна, грн. (бали)	114000 (5)	150000 (4)	181000(2)
Сума балів	20	16	17

Висновки: сума балів (20) обраного апарата є найвищою, що свідчить про його переваги над іншими конструкціями. Запропонована конструкція є більш дешевою і має порівняно невелику масу, а також значну простішу конструкцію, що спрощує обслуговування.

3.4 Патентний огляд конструкції апарату

Мета – провести патентний огляд апаратів, які за принципом дії схожі з розроблюваним апаратом. Було проведено патентний пошук для перевірки патентної чистоти розроблюваної конструкції. В результаті пошуку було відібрано конструкції, описи яких наведено нижче для детального розгляду.

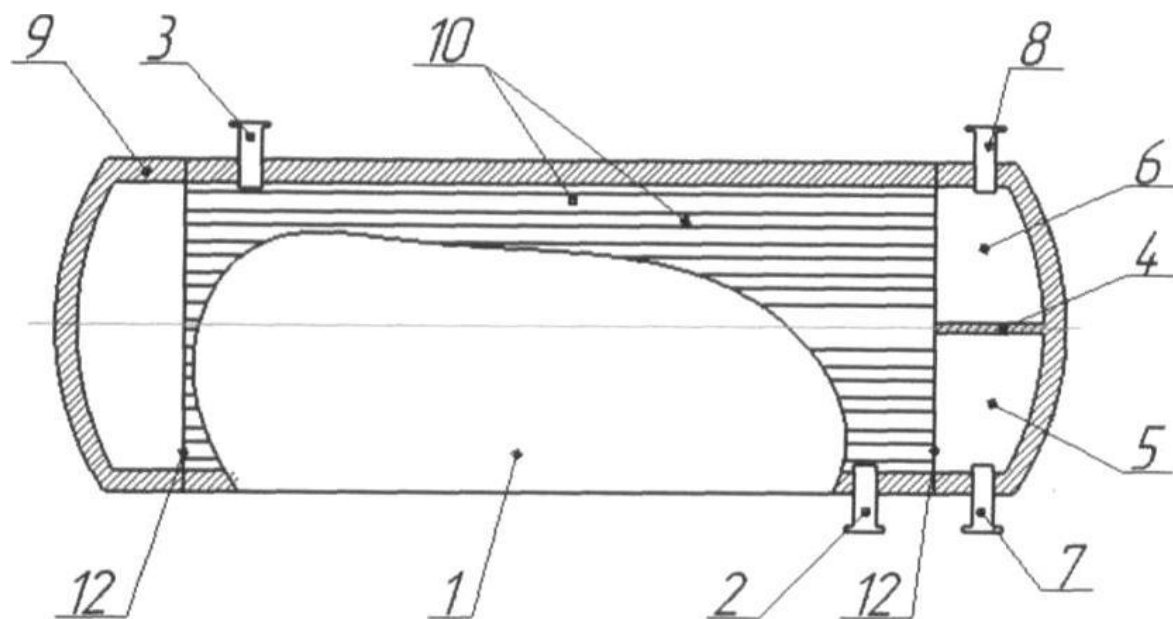
Основними вимогами при конструюванні конденсатора є: забезпечення найбільш високого коефіцієнта теплопередачі при можливо малому гідравлічному опорі; компактність і найменша витрата матеріалів; надійність і герметичність у поєднанні з розбірністю і доступністю поверхні теплообміну для механічного очищення її від забруднень; уніфікація вузлів і деталей; технологічність механізованого виготовлення широких рядів поверхонь теплообміну для різного діапазону робочих температур, тисків та т. ін.

Є багато видів конденсаційних апаратів, які застосовують для конденсації холодоагентів. Основною задачею є вибір конденсатора, в якому при мінімальних гідравлічних опорах реалізовувалася найбільша щільність теплового потоку. При цьому конструкція повинна бути патентно чиста, та проста.

Кожухотрубний теплообмінник зображений на рисунку 3.1 працює наступним чином: рідина, яку потрібно нагріти (або охолодити), під тиском надходить по штуцеру 7 в камеру подачі 5, яка утворюється між перегородкою 4, днища і трубною решіткою 12. Далі рідина направляється по пучках теплообмінних трубок 10 і повертає в днищі 9 і по іншому трубному пучку 10 надходить в камеру відводу 6.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Конструкцію теплообмінника приведено на рисунку 3.1:



1 – кожух, 2 – патрубок підведення теплоносії, 3 – патрубок відведення теплоносія, 4 – перегородка, 5 – камера подачі, 6 – камера підводу, 7 – штуцер для подачі розчину, 8 – штуцер відведення розчину, 9 – кришка, 10 – трубний пучок, 12 – трубна решітка.

Рисунок 3.1 – Кожухотрубний теплообмінник

В циліндричний кожух 1, по патрубку підведення 2 надходить охолоджуючий (або нагріваючий) теплоносій, котрий омиває теплообмінні пучки із труб 10, за рахунок чого рідина поступово нагрівається (або охолоджується), проходячи всі пучки теплообмінних трубок 10, і з потрібною температурою відводиться з апарата по штуцеру 8.

Переваги:

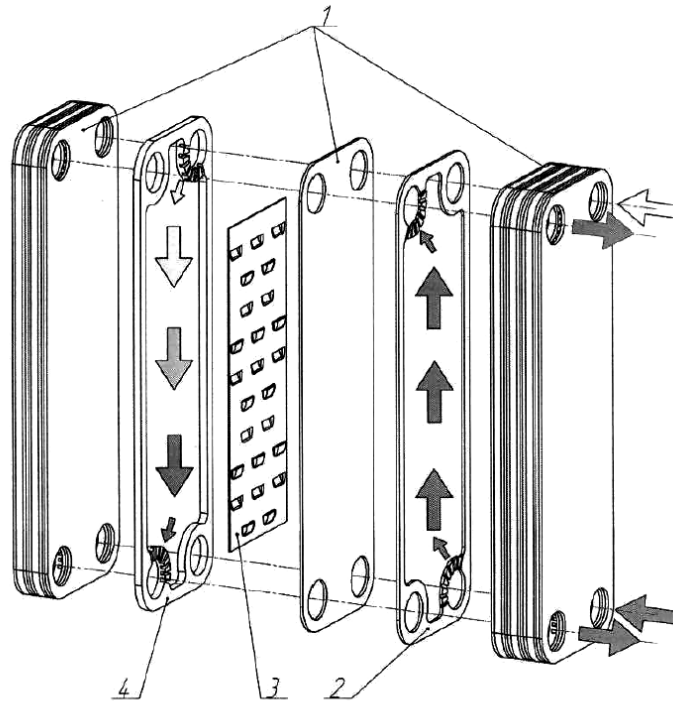
- 1) інтенсифікується процес теплообміну;
- 2) простота конструкції;
- 3) збільшується поверхня тепловіддачі внутрішньої поверхні труб.

Недоліки:

- 1) ускладнюється очищення апарату;
- 2) підвищується гідравлічний опір;

3) зростає товщина стінки, що негативно впливає на процес теплообміну.

На рисунку 3.2 зображено пластинчастий теплообмінник – конденсатор [5].



1 – пластина, 2 – прокладка, 3 – перфорований лист, 4 – простір конденсації пари.

Рисунок 3.2 – Пластинчастий теплообмінник – конденсатор

Пластинчастий теплообмінник – конденсатор працює наступним чином. Кожна пластина 1 має чотири отвори - два для подачі та відводу теплоносія, та два для підводу пари та відводу конденсату. Остання пластина глуха і не має отворів. Між пластинами механічно затиснені прокладки для простору теплоносія 2 та простору, в якому конденсується пара 4, також у просторі, де конденсується пара, розташовано перфорований лист 3.

Переваги:

- 1) значна поверхня теплообміну при незначних габаритах апарату;
- 2) незначна товщина плівки конденсату на пластинах;
- 3) незначна металоємність.

Недоліки:

- 1) складність конструкції;

2) не може працювати за значних тисків;

3) значний гідравлічний опір.

Вертикальний кожухотрубний теплообмінник [6].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.3

Переваги:

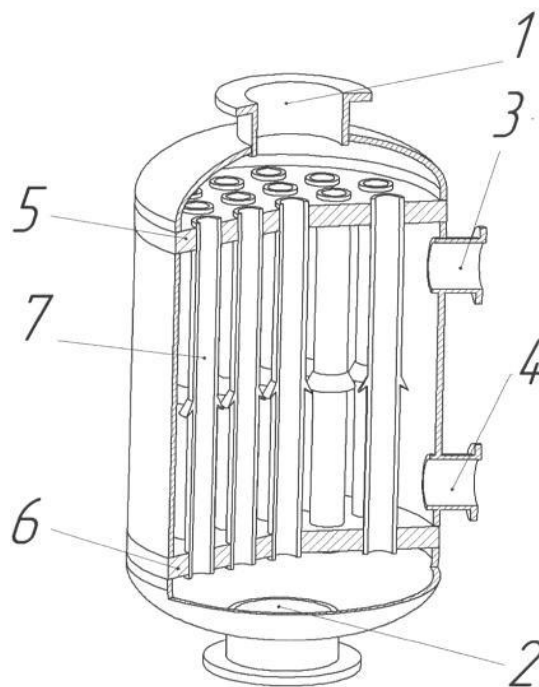
- 1) інтенсифікація теплообміну;
- 2) простота конструкції апарату;
- 3) Підвищення швидкості стікання плівки конденсату шляхом її розриву.

Недоліки:

- 1) збільшується гідравлічний опір;
- 2) ділянки розриву зменшують площу поверхні теплообміну.

Вертикальний кожухотрубний теплообмінник [7].

На рисунку 3.4 зображено вертикальний кожухотрубний теплообмінник, який працює наступним чином: в кричку два, через вхідний штуцер подається рідина, яка потрапляє на розподільний пристрій 6, звідти вона рухається по



1 – штуцер подачі розчину, 2 – штуцер для виходу розчину, 3 – вхід гріючої пари,
4 – вихід конденсату, 5,6 – трубна решітка.

Рисунок 3.3 – Вертикальний кожухотрубний теплообмінник

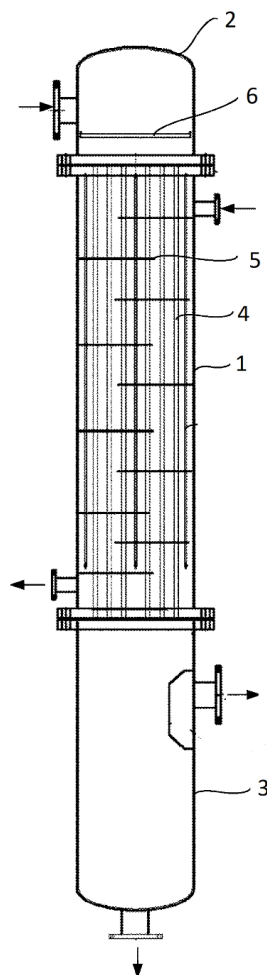
теплообмінним трубам 4, які в свою чергу обігріваються гріючою парою, яка в результаті конденсується. Розчин рухається до кришки 3, де виводиться через вивідний штуцер.

Переваги:

- 1) простота конструкції;
- 2) турбулізація гріючої пари в міжтрубному просторі;
- 3) рівномірне розподілення рідини по трубах при незначних витратах.

Недоліки:

- 1) значна металоємність конструкції;
- 2) низька швидкість стікання плівки конденсату.



1 – корпус, 2 – верхня кришка, 3 – нижня кришка, 4 – труби,
5 – турбулізуючі вставки, 6 – розподільний пристрій.

Рисунок 3.4 – Вертикальний кожухотрубний теплообмінник

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3) рух розчину згори до низу сповільнюється через підняття його температури та густини, що призводить до збільшення його перебування в апараті та негативно впливає на його продуктивність, а також є не допустимим для термолабільних розчинів.

Пластинчастий теплообмінник [8].

На рисунку 3.5 зображено елемент пластинчастого теплообмінника, а саме один із варіантів виконання його пластини.

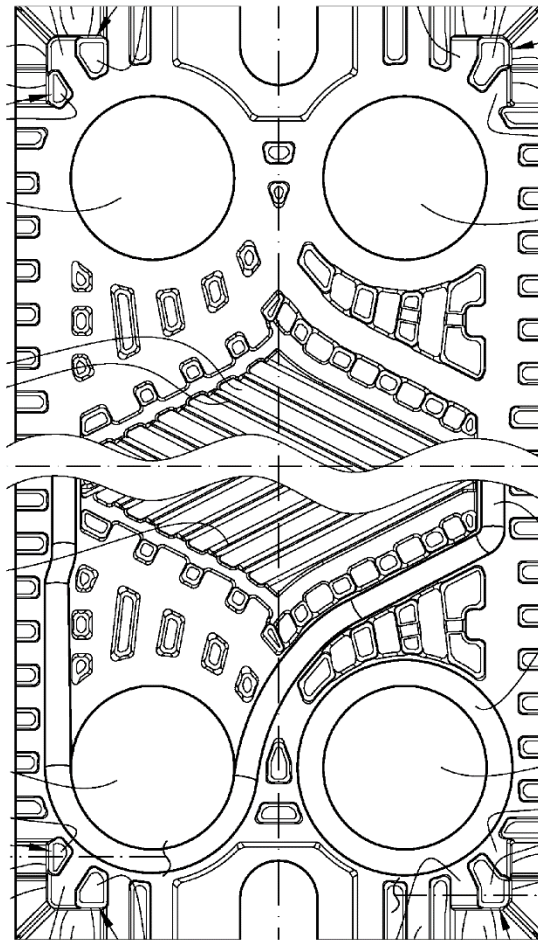


Рисунок 3.5 – Пластинчастий теплообмінник

Кожна пластина 1 має чотири отвори - два для подачі та відводу теплоносія, та два для підводу пари та відводу конденсату. Форма пластини продумана таким чином, що деформовані частини листа торкаються обох пластин, таким чином конденсат збігає по двох листав і його товщина зменшується.

Переваги:

- 1) зменшена товщина плівки конденсату на пластинах, що сприяє процесу теплообміну;
- 2) незначні габарити апарату, при значній поверхні теплообміну;
- 3) не потребує значних затрат енергії;
- 4) низька металоємність.

Недоліки:

- 1) ускладнена герметизація;
- 2) довгий та дорогий ремонт, що потребує заміни ущільнюючих прокладок;
- 3) складність виготовлення пластин;
- 4) підвищений гідравлічний опір.

Висновок: в результаті патентного пошуку встановлено, що сучасні тенденції інтенсифікації теплообмінних процесів направлені на підвищення питомої поверхні теплообміну або на турбулізацію потоків. В запропонованій конструкції апарату не використовуються технічні рішення захищені правами інтелектуальної власності, а отже апарат є патентно чистим.

Регламент патентного пошуку наведено в Додатку А.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

4 Охорона праці

Охорона праці – це система заходів та засобів, розроблених для забезпечення збереження здоров'я та працездатності людини під час виконання роботи. На підприємстві відповідальність за організацію охорони несе керівник, головні фахівці, керівники цехів та ділень, майстри. Керівництво підприємства зобов'язано: забезпечувати безпечні умови праці на робочому місці працівників; організовувати інструктажі та проводити навчання працівників охороні праці; здійснювати контроль за виконанням заходів по охороні праці.

Відповідно до теми дипломного проекту «Модернізація конденсатора установки виробництва етилового спирту» розробляються методи безпеки для оператора, який знаходиться в приміщенні 30 м², яке знаходиться в цеху очисних споруд, а його об'єм складає $V=90 \text{ м}^3$.

В процесі роботи оператора, на нього можуть впливати наступні шкідливі і небезпечні фактори:

- виробничий шум;
- промислове освітлення.
- повітря робочої зони;
- електробезпека.
- пожежна безпека;

Виробничий шум

Приміщення, з конденсатором - закритого типу. Шумні джерела є шнеки, насоси, вентилятори та інше устаткування в яких шум досягає 90 дБА. засоби і методи колективного захисту від шуму поділяють на акустичні, архітектурно-планувальні та організаційно-технічні.

Рівень шуму в операторській не може перевищувати 80 дБА за робочу зміну. Для дотримання цих норм потрібно виконати заходи що до захисту від шуму:

– на підприємстві повинен бути забезпечений контроль рівня шуму та вібрації на робочих місцях не рідше ніж один раз на рік;

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- При проектуванні підприємств обладнання з підвищеним рівнем шуму необхідно розміщувати в окремих приміщеннях, що обладнані звукоізоляційними засобами;
- особи, що приймаються на роботу в умовах підвищеного шуму мають проходити попередні та періодичні медичні огляди;
- робочі, що працюють в умовах підвищеного шуму повинні користуватися засобами індивідуального захисту (протишумові навушники ПШН-Б ГОСТ 12.4.051.87, або протишумові вкладиші «Беруши СТ-1» ТУУ25513947.002 99) .

Промислове освітлення

Для забезпечення сприятливих умов зорової роботи, які б унеможлилювали швидку втому очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків і сприяли б підвищенню продуктивності праці, промислове освітлення має задовольняти таким вимогам:

- створювати на робочій поверхні освітленість, яка відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою встановлених норм;
- забезпечувати достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях для уникнення частої переадаптації зорових органів;
- не створювати засліплювальної дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів в полі зору працівника;
- не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней;
- забезпечити достатній контраст поверхонь для розрізнення деталей, що освітлюються;
- не створювати небезпечних виробничих чинників;
- повинно бути надійним і простим в експлуатації, відповідати економічним та естетичним вимогам.

За допомогою ламп денного світла типу ЛД40 - 2 світловий потік $F_{\text{л}}=3000$ Лм, фактична освітлюваність 10 встановлених ламп $E_{\text{факт}}=300$ Лк.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно ДБН В 2.5.28-2006, освітлюваність повинна бути $E_{\text{нор}} = 250 \text{ Лк}$.

Маємо, що $E_{\text{факт}} > E_{\text{нор}}$, отже освітлюваність відповідає нормам.

Повітря робочої зони

Робота операторів в цьому виробництві відноситься до легкої фізичної роботи категорії Іб. Енерговитрати людини за таких умов праці складають приблизно 121 – 150 ккал/год.

Склад повітря робочої зони залежить від параметрів повітря, таких як: температура, швидкість руху повітря, відносна вологість. Необхідні параметри повітря забезпечується системою проточно-витяжної вентиляції. Параметри повітря робочої мають відповідати ДСН 3.3.6.042 99. Для підвищення працездатності і збереження здоров'я працюючих важливо створити стабільні метеорологічні умови праці – мікроклімат повітряного середовища (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Оптимальні параметри повітря робочої зони

Параметри	Оптимальні	
	теплий	холодний
Температура $t^{\circ}\text{C}$	22-24	21-23
Відносна вологість $W, \%$	40-60	40-60
Швидкість руху повітря $V, \text{м/с}$	0,2	0,1

Дані значення параметрів повітря робочої зони забезпечуються:

- в холодну пору року підігрівом приміщень обігрівачами, що дозволяє підтримувати постійну температуру в приміщенні не нижче 15°C ;
- в теплу пору року – вентиляцією через верхні вентиляційні ходи.

Допоміжною мірою захисту працівників цеху від шкідливої дії професійних факторів є засоби індивідуального захисту.

Для захисту дихальних шляхів рекомендовано використовувати протигази ИП-4М. Для захисту очей використовують захисні окуляри.

Електробезпека

Основні технічні заходи для забезпечення електробезпеки на підприємстві:

- огляд електроустаткування та електропроводки повинен проводитися: на початку робочої зміни електрослюсарем; помічені несправності повинні фіксуватися та якнайшвидше усуватися;
- перевірка максимального струмового захисту і автоматів повинна проводитися не рідше одного разу на шість місяців;
- ізоляція струмовидних частин – забезпечує технічну надійність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок;
- недоступність струмовидних частин – застосовуються захисні огороження, закриті комутаційні апарати, неізовані струмовідні частини розміщуються на висоті, недосяжній для ненавмисного доторкання до них інструментом, різного роду пристосуваннями, обмежується доступ сторонніх осіб в електротехнічні приміщення;
- блоківки безпеки – унеможливлюють доступ до неізованих струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги, попереджують помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації електроустановок, не допускають порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання;
- засоби орієнтації в електроустановках – дають можливість персоналу чітко орієнтуватися при монтажі, виконанні ремонтних робіт і запобігають помилковим діям.
- в аварійному режимі використовується захисне занулення.

Забороняється:

- проводити роботи на незанулених вузлах лінії;
- проводити ремонт лінії без вимкнення електричної мережі;

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Пожежна безпека

У виробничому цеху, де працює конденсатор джерелами горіння можуть стати: електропроводка та електрообладнання. За цих причин дане приміщення відноситься до категорії В і класу зони П-Іа (виробництва, в яких використовують горючі речовини в якості палива).

На даному виробництві використовують наступний комплекс заходів: Вчасно проводити профілактичні огляди електро- і газоапаратури для виявлення та усунення небезпечних пошкоджень; виконувати вимоги правил та інструкцій з пожежної та електробезпеки; Завжди перевіряти справність обладнання та електропроводки.

В даному робочому приміщенні є два евакуиходи – двостулкові двері шириною 1,5 м, які відкриваються назовні, що відповідає СНиП 2.09.02-85.

В разі пожежі, для того щоб її загасити використовують вуглекислі вогнегасники ОУ-8 (3 шт.), щити (2 шт.) і ящики з піском (2 шт.), які завжди є на видних та загальнодоступних місцях.

Для оповіщення використовують пожежну сигналізацію в якій є термооповіщувачі ПК4Г.

Для пожежогасіння без участі людини використовують порошкові вогнегасники, наприклад "Сам 9".

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата

5.1 Параметричний розрахунок конденсатора

Метою параметричного розрахунку є визначення геометричних розмірів конденсатора та площі поверхні теплообміну.

Розрахункова схема параметричного розрахунку наведена на рисунку 5.1.

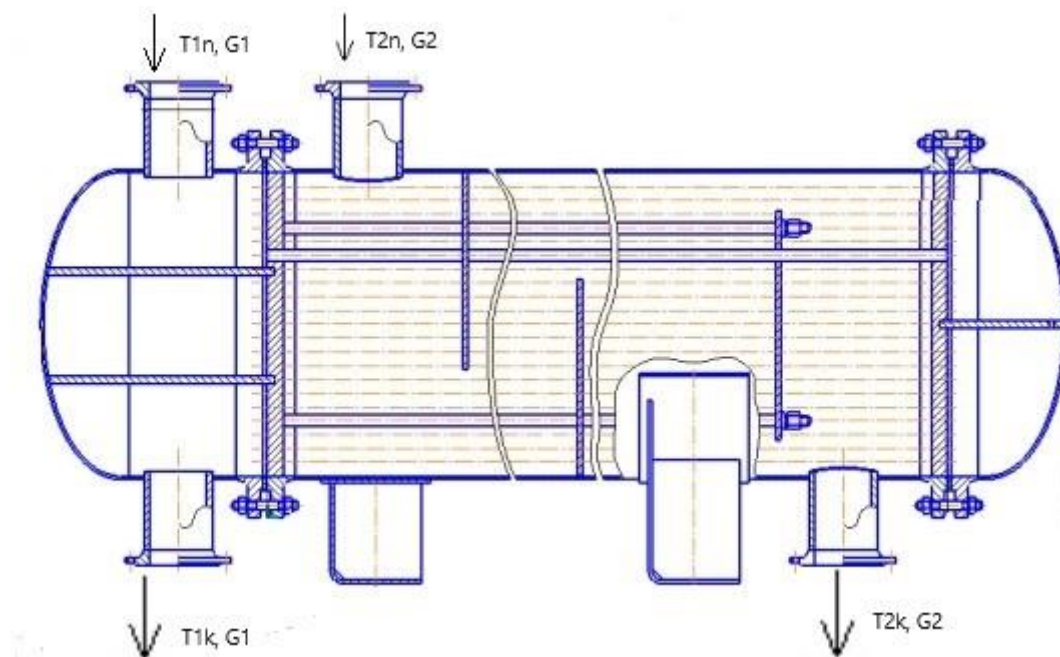


Рисунок 5.1 – Схема параметричного розрахунку конденсатора

Вихідні дані:

Продуктивність етанолу G_1 , кг/с	2,2
Температура конденсації розчину етанолу t_1 , t	78
Початкова температура води t_2 , t	20
Кінцева температура води t_3 , t	60

Розрахунок проводиться за методикою наведеною в [3].

1. Температурні умови процесу:

$$\Delta t_n = t_1 - t_2 = 78 - 20 = 58 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_k = t_1 - t_3 = 78 - 60 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тоді середня рушійна різниця температур, розраховується як середньологарифмічна:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{\ln(\Delta t_n / \Delta t_k)} = \frac{58 - 18}{\ln(58/18)} = 34,36^\circ\text{C}.$$

Середня температура води:

$$t_{cp} = t_2 + \Delta t_{cp} = 20 + 34,36 = 54,36^\circ\text{C}.$$

2. Теплове навантаження:

$$Q_1 = G_1 \cdot r_1 \cdot 10^3 = 2,2 \cdot 682 \cdot 10^3 = 136400 \text{ Вт};$$

звідки масова витрата води:

$$G_2 = \frac{Q_1}{C_2(t_3 - t_2)} = \frac{136400}{4181(60 - 20)} = 4,6 \text{ кг/с},$$

де $r_1 = 682$ (кДж/кг) – питома теплота випаровування розчину етанолу;

$C_2 = 4181$ Дж/(кг·К) – питома теплоємність води при температурі t_{cp} .

Об'ємні витрати води:

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{4,6}{993,5} = 0,0046 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

3. Розрахуємо, яка кількість трубок діаметром 25х2 мм, знадобиться на один хід в трубному просторі при турбулентному режимі руху. Приймаємо $Re = 11000$:

Кількість трубок на один хід:

$$n = \frac{G_2}{Re \cdot 0,785 \cdot \mu_2 \cdot d_1} = \frac{4,6}{11000 \cdot 0,785 \cdot 4954 \cdot 10^{-7} \cdot 0,021} = 51,2 \text{ шт}$$

де $\mu_2 = 4954 \cdot 10^{-7}$ (н · сек/м²) – в'язкість води при температурі t_{cp} .

Швидкість води з фізичних властивостей критерія Рейнольдса:

$$w = \frac{G_2}{0,785 \cdot d_1^2 \cdot n \cdot \rho_2} = \frac{4,6}{0,785 \cdot 0,021^2 \cdot 51,2 \cdot 993,5} = 0,264 \text{ м/с}$$

де $\rho_2 = 993,5$ - густина води [10]

Уточнюємо критерій Рейнольдса:

$$Re_2 = \frac{G_2}{0,785 \cdot \mu_2 \cdot d_1 \cdot n} = \frac{4,6}{0,785 \cdot 4954 \cdot 10^{-7} \cdot 0,021 \cdot 51,2} = 11102.$$

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

4. Визначення коефіцієнта тепловіддачі з боку охолоджуючої води

Критерій Нусельта в трубному просторі становить:

$$Nu = 0,021 Re_2^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \left(\frac{Pr_1}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,021 \cdot 11102^{0,8} \cdot 3,287^{0,43} \left(\frac{3,287}{3,65} \right)^{0,25} = 58,26,$$

де $Pr_1 = 3,287$ – критерій Прандтля етанолу при температурі t_{cp} [14]

Скориставшись поправкою Міхеєва, маємо:

$$Pr_{ст} = \frac{Pr_1}{0,9} - \text{Прандтль стінки}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі в міжтрубному просторі:

$$\alpha_v = \frac{\lambda_1}{d_1} \cdot K_m \cdot Nu = \frac{647 \cdot 10^{-3}}{0,021} \cdot 1,2 \cdot 58,26 = 2154 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}},$$

де $\lambda_1 = 0,647 \text{ Вт/(м·К)}$ – коефіцієнт теплопровідності води при температурі t_{cp}

$K_m = 1,2$ – прийнятий коефіцієнт модернізації.

5. Визначення коефіцієнта тепловіддачі з боку етанолу

$$\alpha = 0,728 \cdot K_m \cdot \varepsilon_{cp} \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \cdot \rho^2 \cdot r \cdot 9,81}{\mu \cdot \Delta t \cdot d_1}}$$

$$\alpha = 0,728 \cdot 1,2 \cdot 0,958 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,1902 \cdot 741 \cdot 1084000 \cdot 9,81}{0,287 \cdot 10^{-3} \cdot 4,25 \cdot 0,021}} = 936,585 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}},$$

де λ, ρ, μ потрібно брати при температурі плівки конденсату

$$t_{пл} = \frac{t_{конд} + t_{ст}}{2}$$

де $t_{ст}$ - температура стінки з боку етанолу, що конденсується.

6. Опір стінки та забрудень

Приймаємо термічний опір стінки зі сторони етанолу та води однаковий, що становить $1/5800 \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}$, тоді термічний опір забруднень:

$$r_{ст} = \frac{1}{r_{забр1}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{r_{забр2}} = \frac{1}{5800} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{2000} = 0,7154 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}},$$

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

де $\lambda_{\text{ст}} = 46,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності сталюї стінки;

$\delta_{\text{ст}} = 0,002 \text{ м}$ - товщина стінки труби;

$r_{\text{забр1}}$ и $r_{\text{забр2}}$ - прийнятий опір забруднень з боку етанолу та води.

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$K = \frac{1}{r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_v}} = \frac{1}{0,7154 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{936,585} + \frac{1}{2154}} = 445,038 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

Орієнтовна площа поверхні теплообміну:

$$F = \frac{Q_1}{K \cdot \Delta t_{\text{cp}}} = \frac{136400}{445,038 \cdot 34,36} = 43,9 \text{ м}^2$$

Знайдемо довжину труб теплообмінника:

$$L = \frac{F}{d_1 \cdot \pi \cdot n} = \frac{8,9}{0,021 \cdot 3,14 \cdot 9} = 12 \text{ м.}$$

Приймаємо довжину труб $L = 3 \text{ м}$, загальна кількість труб $n = 206$, кількість ходів – 4.

Уточнюємо критерій Рейнольдса:

$$Re_2 = \frac{G_2}{0,785 \cdot \mu_2 \cdot d_1 \cdot n} = \frac{4,6}{0,785 \cdot 4954 \cdot 10^{-7} \cdot 0,021 \cdot 206} = 10137$$

7. Визначення питомого теплового навантаження

При сталому тепловому потоці:

$$q = q_{\text{конд}} = q_{\text{ст}} = q_v$$

$$\alpha_{\text{конд}} \cdot (t_{\text{конд}} - t_{\text{ст1}}) = \sum r_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{ст1}}) = \alpha_v \cdot (t_{\text{ст2}} - t_v),$$

де $t_{\text{ст1}}$ - температура стінки з боку етанолу;

$t_{\text{ст2}}$ - температура стінки з боку води.

$$t_{\text{ст1}} = 0,5 \cdot \left(\frac{t_{\text{н1}} + t_{\text{к1}}}{2} + \frac{t_{\text{н2}} + t_{\text{к2}}}{2} \right) = 0,5 \cdot \left(\frac{20+60}{2} + \frac{78+78}{2} \right) = 59,$$

де $t_{\text{н1}} = 20$ та $t_{\text{н2}} = 78$ - початкові температури теплоносіїв;

$t_{\text{к1}} = 60$ та $t_{\text{к2}} = 78$ - кінцеві температури теплоносіїв.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Температура плівки конденсату:

$$t_{пл} = 0,5 \cdot (t_{конд} + t_{ст1}) = 0,5 \cdot (78 + 59) = 68,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_1 = t_{конд} - t_{ст1} = 78 - 59 = 19 \text{ град}$$

$$q_{конд} = \alpha \cdot \Delta t_1 = 936,585 \cdot 19 = 17940 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$\Delta t_{ст1} = q_{конд} \cdot r_{ст} = 17940 \cdot 0,0007154 = 12,831 \text{ град}$$

$$t_{ст2} = t_{ст1} - \Delta t_{ст1} = 59 - 12,831 = 46,169 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Тоді:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{ст2}} \right)^{0,25}$$

$$Nu_1 = 0,021 \cdot 10137 \cdot 3,287^{0,43} \cdot \left(\frac{3,287}{2,57} \right)^{0,25} = 64,192$$

де $Pr_{ст2} = 2,57$ - критерій Прандтля для води при температурі $t_{ст2}$

$$\alpha_{v1} = \frac{\lambda_2}{d_1} \cdot Nu_1 \cdot K_m = \frac{597 \cdot 10^{-3}}{0,021} \cdot 64,192 \cdot 1,2 = 2190 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де $\lambda_2 = 597 \cdot 10^{-3}$ - теплопровідність води при температурі $t_{ст2}$

$$\Delta t_2 = t_{ст2} - t_{ср} = 46,169 - 54,36 = 8,185 \text{ град}$$

$$q_v = \alpha_{v1} \cdot \Delta t_2 = 2190 \cdot (8,185) = 17920 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Згідно розрахунку $q_{конд} = q_v$, тоді:

$$q_{ср} = \frac{q_v + q_{конд}}{2} = \frac{17940 + 17920}{2} = 17930 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

8.Необхідна поверхня теплообміну:

$$F = \frac{Q_1}{q_{ср}} = \frac{136400}{17930} = 7,6 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт тепловіддачі

$$K = \frac{q_{ср}}{t_{ср}} = \frac{17930}{54,36} = 329,8 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{град})}$$

Висновок: на основі проведених розрахунків визначено параметри конденсатора.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

За ГОСТ 15118-79 обираємо чотирьох ходовий теплообмінний апарат діаметром 600 мм, довжина труб якого 3м, а поверхня теплообміну 49м^2 .

5.2 Розрахунок діаметра штуцерів

Метою розрахунку є вибір стандартних штуцерів за тиском і умовним діаметром, що далі визначається.

Розрахункова схема штуцера наведена на рисунку 5.2

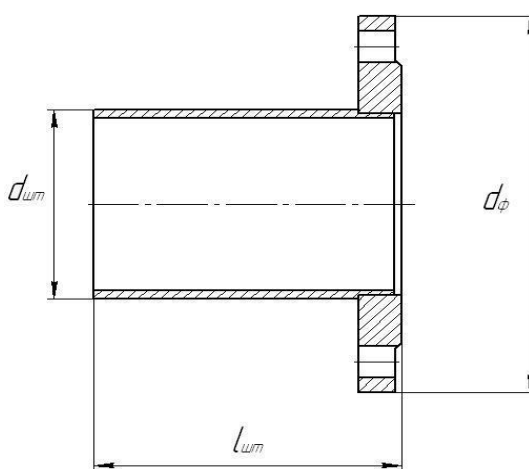


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема штуцера

Вихідні данні:

Продуктивність по етанолу G_1 , кг/с	2,2;
масова витрата води $G_{\text{води}}$, кг/с	4,6;
рекомендована швидкість для пари $W_{\text{пари}}$, м/с	20;
рекомендована швидкість для рідини $W_{\text{рід}}$, м/с	1;
густина пари $\rho_{\text{пари}}$, кг/м ³	0,72;
густина води, $\rho_{\text{води}}$, кг/м ³	983.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [11].

Розраховуємо діаметр штуцера для входу і виходу метанолу. Всі фізичні властивості відповідно вибираємо для метанолу при середній температурі.

1.Розраховуємо діаметр штуцера для пари:

$$d_{\text{пари шт}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\rho_{\text{пари}} \cdot \pi \cdot W_{\text{пари}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,2}{0,72 \cdot 3,14 \cdot 20}} = 0,133 \text{ м.}$$

Приймаємо $d_{\text{пари шт}} = 150 \text{ мм.}$

2.Розраховуємо діаметр штуцера для конденсату:

$$d_{\text{конд шт}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\rho_{\text{води}} \cdot \pi \cdot W_{\text{рід}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,2}{983 \cdot 3,14 \cdot 1}} = 0,016 \text{ м.}$$

Приймаємо $d_{\text{конд шт}} = 15 \text{ мм}$

3.Розраховуємо діаметр штуцера для води:

$$d_{\text{води шт}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{води}}}{\rho_{\text{води}} \cdot \pi \cdot W_{\text{води}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,6}{983 \cdot 3,14 \cdot 0,264}} = 0,063 \text{ м.}$$

де $W_{\text{води}} = 0,264 \text{ м/с}$ - швидкість води

Приймаємо $d_{\text{води шт}} = 80 \text{ мм}$

Приймаємо стандартний штуцер (для входу пари) за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,150;
зовнішній діаметр патрубку, d_m , м	0,161;
товщина стінки патрубку, S_m , м	0,006;
висота штуцера, H_m , м	0,185.

Приймаємо стандартний штуцер (для виходу конденсату) за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,015;
зовнішній діаметр патрубку, d_m , м	0,019;
товщина стінки патрубку, S_m , м	0,0035;
висота штуцера, H_m , м	0,150.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Приймаємо стандартний штуцер (для входу і виходу води) за
ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,08;
зовнішній діаметр патрубку, d_m , м	0,91;
товщина стінки патрубку, S_m , м	0,005;
висота штуцера, H_m , м	0,155.

5.3 Розрахунок гідравлічного опору конденсатора

Метою розрахунку є визначення гідравлічного опору трубного простору конденсатора, оскільки гідравлічний опір при конденсуванні майже відсутній та долається існуючим компресійним обладнанням установки.

Розрахункова схема гідравлічного розрахунку наведена на рисунку 5.3.

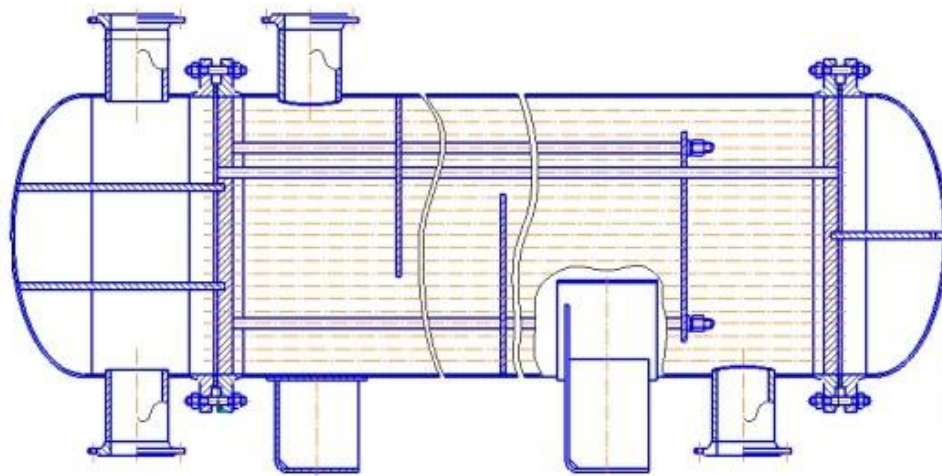


Рисунок 5.3 – Схема гідравлічного розрахунку конденсатора

Вхідні дані:

масова витрата води G_2 , кг/с	4,6;
швидкість води в трубках W , м/с	0,264;
швидкість води в штуцерах $W_{шт}$, м/с	1;
густина води ρ , кг/м ³	983;

критерій Рейнольдса Re	10137;
кількість ходів z	4;
довжина трубок L , м	3;
внутрішній діаметр трубки d , м	0,021

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [12].

1. Коефіцієнт гідравлічного опору для шорстких труб при відношенні еквівалентного діаметра до середньої висоти виступів:

$$\varepsilon = \frac{d}{e} = \frac{0,021}{0,2} = 0,105,$$

Тоді:

$$\lambda = \left(\frac{1}{-2 \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right]} \right)^2 = \left(\frac{1}{-2 \lg \left[\frac{0,105}{3,7} + \left(\frac{6,81}{10137} \right)^{0,9} \right]} \right)^2 = 0,11$$

2. Втрати тиску на переміщення рідини в трубах (подолання в'язкісного тертя в трубах):

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \frac{zL}{d} \frac{\rho W^2}{2} = 0,11 \cdot \frac{4 \cdot 3}{0,021} \cdot \frac{983 \cdot 0,264^2}{2} = 2,153 \text{ кПа.}$$

Визначаємо місцеві втрати. Коефіцієнти місцевих втрат наведені нижче.

Вхідна і вихідна камери $1,5 \cdot 2 = 3$;

вхід в труби і вихід із труб $1 \cdot 2 = 2$;

сумарне значення коефіцієнтів місцевих втрат $\sum \xi = 5$.

Швидкісний напір для вхідної і вихідної камер обчислюємо по швидкості в штуцерах, а втрати на вході і виході труб і поворотах - по швидкості в трубах.

3.Тоді місцеві втрати дорівнюють:

$$\Delta P_{\text{м}} = 3 \frac{\rho W_{\text{шт}}^2}{2} + 18,5 \frac{\rho W^2}{2} = 3 \cdot \frac{983 \cdot 1^2}{2} + 18,5 \cdot \frac{983 \cdot 0,264^2}{2} = 2,108 \text{ кПа.}$$

4.Сумарний гідравлічний опір трубного простору:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{м}} = 2,153 + 2,108 = 4,261 \text{ кПа.}$$

5.Потужність на переміщення води:

$$N = \Delta P \frac{G_2}{\rho_2} = 4,261 \cdot \frac{4,6}{983} = 35,37 \text{ Вт.}$$

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Висновок: в результаті проведення гідравлічного розрахунку встановлено гідравлічний опір, що виникає в трубному просторі, та потужність, яку необхідно витратити для його подолання.

5.4 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішнього надлишкового тиску

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію і зручності транспортування та монтажу.

Розрахункова схема обичайки наведена на рисунку 5.4.

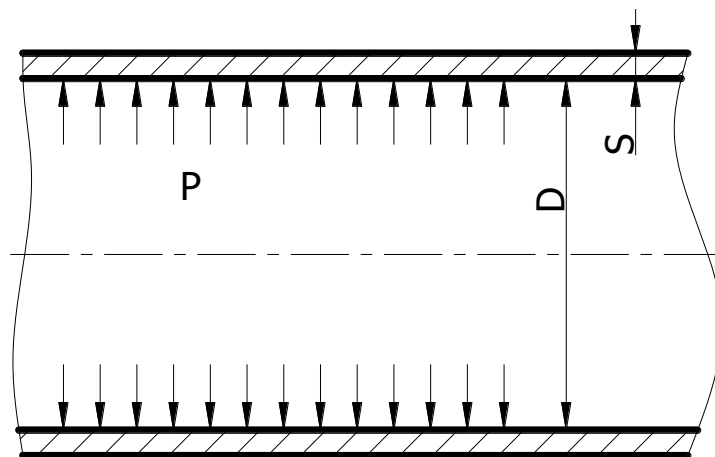


Рисунок 5.4 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Вихідні дані для розрахунку:

Тиск в середині апарата P , Па	$0,1 \cdot 10^6$
Діаметр апарата D , м	0,6
Матеріал	Сталь20
розрахункова температура, K , T_2 ,	305
Допустиме напруження матеріалу $[\sigma]$, Па	$148 \cdot 10^6$

Авторами [2] запропонована методика розрахунку товщини стінки обичайки.

Розрахунковий тиск обрано у відповідності до правил безпеки та надійності роботи всієї установки.

1.Обчислюється розрахункова товщина стінки:

$$S_R = \frac{P \cdot D}{2[\sigma]\varphi - P} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 0,6}{2 \cdot 148 \cdot 10^6 \cdot 0,9 - 0,1 \cdot 10^6} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ м ,}$$

де φ - розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва

2.Прибавка на компенсацію корозії і ерозії

$$C_1 = \vartheta \cdot \tau = 2 \cdot 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм ,}$$

де $\vartheta = 0,1$ мм/рік – швидкість корозії;

$\tau = 10$ років – срок служби апарату.

3.Виконавча товщина стінки обичайки

$$\begin{aligned} S &= S_R + C_1 = \\ &= 3,6 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-3} = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{aligned}$$

Приймаємо $S = 2 \cdot 10^{-3}$ м; тоді $c_2 = 0,18 \cdot 10^{-3}$ м; $c_3 = 0$

C_2 – прибавка на компенсацію від'ємного допуску до товщини листа, залежить від товщини листа; (ГОСТ 9941-81)

$$c_2 = 0,18 \cdot 10^{-3}$$

C_3 – технологічна прибавка, яка визначається заводом і пов'язана зі зміною листа при формуванні деталі:

$$c_3 = 0$$

4.Сума додатків до розрахункової товщини с

$$\frac{c_2 + c_3}{S} = \frac{0,18 \cdot 10^{-3}}{3,6 \cdot 10^{-3}} = 0,049 < 0,05$$

тому

$$c = c_1 = 1 \text{ мм}$$

5.Товщина обичайки з урахуванням прибавок:

$$S = S_R + c = 3,6 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-3} = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Приймаємо $S = 2 \cdot 10^{-3}$ м , рекомендовану ГОСТ-ом з метою забезпечення міцності обичайки.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Допустимий внутрішній надлишковий тиск, МПа:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi(S - C)}{D + (S - C)} =$$

$$= \frac{2 \cdot 148 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot (2 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3})}{0,6 + (2 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3})} = 3,63 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Перевіряємо умову міцності $1,6 \cdot 10^5 \leq 3,636 \cdot 10^5$ – умова виконується.

5.5 Розрахунок фланцевого з'єднання

Мета розрахунку: розрахувати фланцеве з'єднання, що складається з двох плоских приварних фланців, зробити перевірку міцності прокладки та болтів, а також перевірити на міцність та герметичність фланцеве з'єднання.

Розрахункова схема фланцевого з'єднання показана на рисунку 5.5.

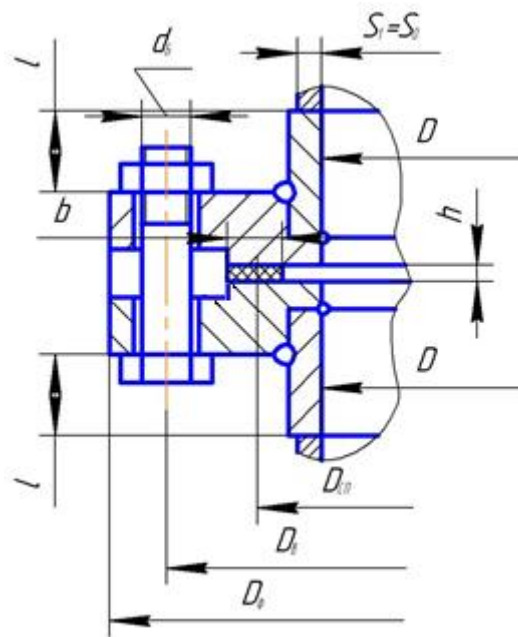


Рисунок 5.5 – Розрахункова схема фланцевого з'єднання

Вихідні дані:

Розрахунковий тиск P , МПа 0,1;

Температура середовища t , °C 78;

Внутрішній діаметр фланцевого з'єднання D , м 0,6;

Товщина стінки апарату S_1 , м	0,008;
Товщина прокладки h , м	0,002;
Ширина прокладки b , м	0,016.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [14].

I. Розрахунок допоміжних величин.

1. Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - b = 0,68 - 0,015 = 0,665 \text{ м.}$$

2. Ефективна ширина прокладки:

$$b_E = 0,06 \cdot \sqrt{b} = 0,06 \cdot 0,12 = 0,0072 \text{ м}$$

3. Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K_{\Phi} = \frac{D_{\Phi}}{D} = \frac{0,755}{0,6} = 1,26$$

4. Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\Phi 1} = \frac{h_{\Phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,025}{\sqrt{0,6 \cdot 0,008}} = 0,36$$

$$\lambda_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,025}{\sqrt{0,6 \cdot 0,008}} = 0,36$$

5. Поправковий коефіцієнт для фланців:

$$\psi_{1\Phi} = 1,28 \cdot \lg(K_{\Phi}) = 1,28 \cdot \lg(1,26) = 0,13$$

$$\psi_{2\Phi} = \frac{K_{\Phi} + 1}{K_{\Phi} - 1} = \frac{1,26 + 1}{1,26 - 1} = 8,7$$

Поправковий коефіцієнт для перерізу S_0 приймаємо $\psi_3 = 1$.

6. Геометричні параметри фланців:

$$j_{\Phi 1} = \frac{h_{\Phi 1}}{S_0} = \frac{0,025}{0,008} = 3,125$$

$$j_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 2}}{S_0} = 3,125$$

7. Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\Phi} = \frac{K_{\Phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_{\Phi})) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\Phi}^2) \cdot (K_{\Phi} - 1)} = \frac{1,26^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(1,26)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,26^2) \cdot (1,26 - 1)} = 1,82$$

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

8. Безрозмірні параметри фланців:

$$\begin{aligned}\omega_{\phi 1} &= [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2)]^{-1} = \\ &= [1 + 0,9 \cdot 0,36 \cdot (1 + 0,13 \cdot 3,125^2)]^{-1} = 0,57 \\ \omega_{\phi 2} &= [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2)]^{-1} = 0,57\end{aligned}$$

9. Кутова піддатливість фланців:

$$\begin{aligned}y_{\phi 1} &= \frac{[1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}^t} = \frac{[1 - 0,57 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,36)] \cdot 8,7}{0,025^3 \cdot 1,75 \cdot 10^5} = 0,8 \\ y_{\phi 2} &= \frac{[1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}^t} = 0,8\end{aligned}$$

10. Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання:

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_B = 0,025 + 0,025 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,058 \text{ м}$$

11. Лінійна піддатливість неметалевої прокладки:

$$y_{\Pi} = \frac{h}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b \cdot E_n} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 0,665 \cdot 0,016 \cdot 2000} = 2,9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{Н} \cdot \text{м}}$$

Металевої:

$$y_{\Pi 1} = 0$$

12. Площа поперечного перерізу болта:

$$f_B = 0,785 \cdot d_o^2 = 0,785 \cdot 0,026^2 = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

13. Лінійна піддатливість болтів:

$$y_B = \frac{L_B}{E_B^t \cdot f_B \cdot z_B} = \frac{0,058}{1,75 \cdot 10^5 \cdot 5,3 \cdot 10^{-4} \cdot 20} = 3,1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{Н} \cdot \text{м}}$$

14. Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\begin{aligned}A_{\phi} &= [y_{\Pi} + y_B + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{cn})^2]^{-1} = \\ &= [2,9 \cdot 10^{-5} + 3,1 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,8 + 0,8) \cdot ((0,705 - 0,665)^2)]^{-1} = 8064 \frac{\text{М} \cdot \text{Н}}{\text{м}}\end{aligned}$$

15. Параметри жорсткості фланців:

$$B_{\phi 1} = y_{\phi 1} \cdot (D_B - D - S_o) = 0,8 \cdot (0,705 - 0,6 - 0,008) = 0,078 \frac{1}{\text{М} \cdot \text{Н}}$$

$$B_{\phi 2} = y_{\phi 2} \cdot (D_B - D - S_o) = 0,078 \frac{1}{\text{М} \cdot \text{Н}}$$

16. Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_B = 8064 \cdot 3,1 \cdot 10^{-5} = 0,25$$

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

17. Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} \cdot [y_B + 0,25 \cdot (B_{\phi 1} + B_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{\text{сп}})] = \\ = 8064 \cdot [3,1 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,078 + 0,078) \cdot (0,705 - 0,665)] = 12,8$$

II. Розрахунок болтів фланцевого з'єднання

18. Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 0,665^2 \cdot 1,25 = 0,44 \text{ МН}$$

19. Реакція прокладки у робочих умовах:

$$R_n = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot m \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,665 \cdot 0,0085 \cdot 2,5 \cdot 1,25 = 0,104 \text{ МН}$$

20. Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$Q_{t\phi} = \gamma \cdot Z_B \cdot f_B \cdot E_B^t \cdot (\alpha_{\phi}^t \cdot t - \alpha_B^t \cdot t) = \\ = 0,25 \cdot 20 \cdot 5,3 \cdot 10^{-4} \cdot 1,75 \cdot 10^5 \cdot (1,29 \cdot 10^{-5} \cdot 260 - 1,38 \cdot 10^{-5} \cdot 260) = -0,02$$

21. Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку:

$$P'_{B1} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 0,665 \cdot 0,0072 \cdot 20 = 0,3 \text{ МН}$$

$$P''_{B1} = \alpha_{\phi} \cdot (Q_d + 0) + R_n + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{сп}}} = 12,8 \cdot (0,44 + 0) + 0,208 + 0 = 5,8 \text{ МН}$$

$$P'''_{B1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot Z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 230 \cdot 20 \cdot 5,3 \cdot 10^{-4} = 0,98 \text{ МН}$$

22. Розрахункове монтажне болтове навантаження приймаємо:

$$P_{B1} = \max\{P'_{B1}; P''_{B1}\} = \{0,3; 5,8\} = 5,8 \text{ МН}$$

23. Умова міцності прокладки/ перевіряється тільки для неметалевої прокладки:

$$\frac{P_{B1}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b} \leq [q]$$

$$\frac{5,8}{3,14 \cdot 0,665 \cdot 0,015} = 125 \text{ МН} \leq 130 \text{ МН}$$

Отже, умова міцності виконується.

24. Болтове навантаження за робочих умов:

$$P_{B2} = P_{B1} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_d + P) + Q_{t\phi} = \\ = 5,8 + (1 - 12,8) \cdot (0,44 + 0,1) - 0,02 = 0,592 \text{ МН}$$

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

При $Q_t < 0$: $[\sigma_B^t] \cdot z_b \cdot f_b - Q_{tf} = 2,3 \text{ МН} > P_{B2} = 0,592 \text{ МН}$,

Отже, додаткова умова виконується.

25. Розрахункове навантаження на болти:

$$P_{B\phi} = \max\{P_{B1}; P_{B2}\} = \max\{5,8; 0,592\} = 5,8 \text{ МН}$$

26. Напруження в болтах за умов монтажу:

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{B2}}{z_B \cdot f_B} = \frac{0,592}{20 \cdot 5,3 \cdot 10^{-4}} = 55,8 \text{ МПа}$$

27. Напруження розтягування в болтах за робочих умов:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{B1}}{z_B \cdot f_B} = \frac{5,8}{20 \cdot 5,3 \cdot 10^{-4}} = 247 \text{ МПа}$$

28. Скручуючий момент, що виникає від розтягування гайок:

$$M_{\text{скр}} = f_1 \cdot \frac{P_{B\phi}}{z_B} \cdot d_B = 0,1 \cdot \frac{5,8}{20} \cdot 0,02 = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

29. Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_B = \frac{M_{\text{скр}}}{0,2 \cdot d_0^3} = \frac{5,8 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,026^3} = 164,9 \text{ МПа}$$

30. Еквівалентні напруження в болтах:

$$\sigma_B^{20} = \sqrt{(\sigma_B^{20})^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{55,8^2 + 3 \cdot 164,9^2} = 198 \text{ МПа}$$

$$\sigma_B^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{247^2 + 3 \cdot 164,9^2} = 220 \text{ МПа}$$

31. Умови міцності болтів:

$$\sigma_B^{20} = 198 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^{20} = 230 \text{ МПа}$$

$$\sigma_B^t = 220 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^t = 222 \text{ МПа}$$

Умови міцності виконуються.

III. Розрахунок фланців на міцність

32. Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{B\phi} \cdot (D_B - D_{\text{сп}}) = 0,5 \cdot 5,8 \cdot (0,705 - 0,665) = 0,16 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

33. Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов:

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot [P_{Б2} \cdot (D_{Б} - D_{сп}) + Q_{д} \cdot (D_{сп} - D - S_0)] \cdot \frac{[\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t} =$$

$$= 0,5 \cdot [0,592 \cdot (0,705 - 0,665) + 0,44 \cdot (0,665 - 0,6 - 0,008)] \cdot \frac{147}{130} = 0,027 \text{ МНм}$$

34. Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{02\phi}; M_{01\phi}\} = \max\{0,16; 0,027\} = 0,16 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

35. Максимальні напруження в перерізі S_0 фланців від дії вигинаючого моменту $M_{0\phi}$:

$$\sigma_{0\phi1} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi1}}{D^* \cdot (S_0 - c)^2} = 1 \cdot \frac{1,82 \cdot 0,16 \cdot 0,57}{0,6 \cdot (0,008 - 0,001)^2} = 379,8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{0\phi2} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi2}}{D^* \cdot (S_0 - c)^2} = 379,8 \text{ МПа,}$$

де $D^* = D = 0,06 \text{ м}$.

36. Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту $M_{0\phi}$:

$$\sigma_{к\phi1} = \frac{M_{0\phi} \cdot [1 - \omega_{\phi1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi1})] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi1}^2} = \frac{0,16 \cdot [1 - 0,57 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,36)] \cdot 8,7}{0,6 \cdot 0,025^2} = 97,05 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{к\phi2} = \frac{M_{0\phi} \cdot [1 - \omega_{\phi2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi2})] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi2}^2} = 97,05 \text{ МПа}$$

37. Кільцеве та меридіанне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішнього тиску p :

$$\sigma_{х\phi1} = \sigma_{х\phi2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} = \frac{0,1 \cdot 0,6}{2 \cdot (0,008 - 0,001)} = 4,28 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{у\phi1} = \sigma_{у\phi2} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot (S_0 - c)} = \frac{0,1 \cdot 0,6}{4 \cdot (0,008 - 0,001)} = 2,14 \text{ МПа}$$

38. Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців:

$$\sigma_{Е\phi1} = \sqrt{(\sigma_{0\phi1} + \sigma_{у\phi1})^2 + \sigma_{х\phi1}^2 - (\sigma_{0\phi1} + \sigma_{у\phi1}) \cdot \sigma_{х\phi1}} =$$

$$= \sqrt{(379,8 + 2,14)^2 + 4,28^2 - (379,8 + 2,14) \cdot 4,28} = 459 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Е\phi2} = \sqrt{(\sigma_{0\phi2} + \sigma_{у\phi2})^2 + \sigma_{х\phi2}^2 - (\sigma_{0\phi2} + \sigma_{у\phi2}) \cdot \sigma_{х\phi2}} = 459 \text{ МПа}$$

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

39. Умова міцності:

$$\left[\sigma_{E\phi 1}^{S_o}\right] = \left[\sigma_{E\phi 2}^{S_o}\right] = 0,003 \cdot E_{\phi 1}^t \cdot \varphi = 540 \cdot 0,9 = 486 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{E\phi 1} = 459 \text{ МПа} \leq \left[\sigma_{\phi 1}^{S_o}\right] = 486 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{E\phi 2} = 459 \text{ МПа} \leq \left[\sigma_{\phi 2}^{S_o}\right] = 486 \text{ МПа}$$

Умови міцності виконуються.

40. Умови герметичності:

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 1} \cdot D}{E_{\phi 1}^t \cdot h_{\phi 1}} = \frac{97,05 \cdot 0,6}{1,75 \cdot 10^5 \cdot 0,025} = 0,0085 < [\theta] = 0,009,$$

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 2} \cdot D}{E_{\phi 2}^t \cdot h_{\phi 2}} = 0,0085 < [\theta] = 0,009.$$

Умови герметичності виконуються.

Висновок: В результаті розрахунку прийнято плоский приварний фланець для обичайки діаметром $D = 0,6$ м, тиском $P = 0,16$ МПа. Умови міцності та герметичності фланцевого з'єднання виконуються.

5.6 Перевірка несучої спроможності обичайок горизонтальних апаратів, що сприймають навантаження реакцій сідлових опор

Метою розрахунку є перевірка несучої спроможності обичайки горизонтального апарату, що сприймає навантаження реакцій сідлових опор.

Вихідні дані:

Вага апарату $G, \text{Н}$	0,028;
Довжина апарата $L, \text{м}$	3,61;
Висота кришки корпусу $H, \text{м}$	0,175;
Кількість опор n	2;
Внутрішній діаметр апарата $D, \text{м}$	0,6;
Відстань від крайньої точки до опори $a, \text{м}$	0,5;
Відстань між опорами $l_1, \text{м}$	2,5;

Розрахункова схема наведена на рисунку 5.6.

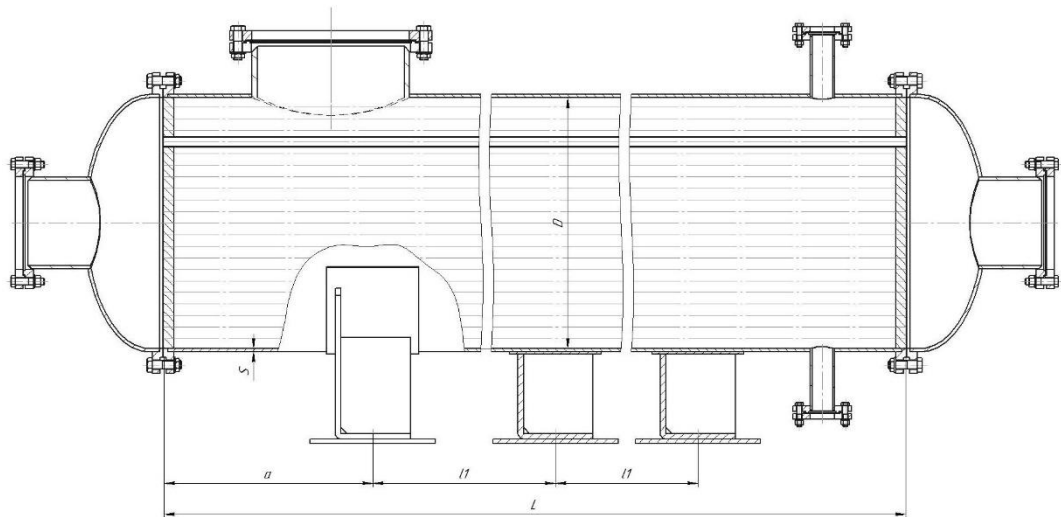


Рисунок 5.6 – Схема перевірного розрахунку несучої спроможності обичайки, що сприймає навантаження реакцій сідлових опор

Товщина стінки корпусу S , м	$8 \cdot 10^{-3}$;
Розрахункова прибавка до товщини листа s , м	$1,18 \cdot 10^{-3}$;
Ширина опорного листа b , м	0,18;
Модуль пружності E , МПа	$1,9 \cdot 10^5$;
Розрахунковий тиск p , МПа	0,24;
Коефіцієнт запасу міцності n_t	1,5;
Поправочний коефіцієнт n_c	2,4;
Допустиме напруження матеріалу $[\sigma]$, Па	148;
Розрахунок здійснено за методикою, наведеною у літературі [15].	

1. Розподілене навантаження, МН/м:

$$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3} \cdot H} = \frac{0,028}{6 + \frac{4}{3} \cdot 0,175} = 4,564 \cdot 10^{-3} \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

2. Відношення:

$$\frac{a}{l_1} = \frac{0,5}{2,5} = 0,2$$

3. Коефіцієнт:

$$\psi_1 = 0,8 \quad \psi_2 = 1,5 \quad \psi_3 = 0,8$$

4. Довжина вільної виступаючої частини, м:

$$e = a + \frac{2}{3} \cdot H = 0,5 + \frac{2}{3} \cdot 0,175 = 0,617 \text{ м}$$

5. Опорне зусилля, МН:

$$F_1 = \frac{\psi_1 \cdot G}{n} = \frac{0,8 \cdot 0,028}{2} = 0,008 \text{ МН}$$

$$F_2 = \frac{\psi_2 \cdot G}{n} = \frac{1,5 \cdot 0,028}{2} = 0,014 \text{ МН}$$

$$F_3 = \frac{\psi_3 \cdot G}{n} = \frac{0,8 \cdot 0,028}{2} = 0,008 \text{ МН}$$

$$F_i = \max(F_1, F_2, F_3) = 0,014 \text{ МН}$$

6. Вигинаючий момент над і-тою опорою, МН · м:

$$M_l = \frac{q \cdot l_1^2}{8} = \frac{4,564 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5^2}{8} = 3,556 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_i = M_l = 3,556 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

7. Поперечні зусилля в перерізі обичайки над і-тою точкою, МН:

$$Q_i = 0,5 \cdot F_i = 0,5 \cdot 0,014 = 7,112 \cdot 10^{-3} \text{ МН}$$

Перевірка несучої спроможності обичайки, що в області опорного вузла не підкріплена кільцем жорсткості та підкладним листом.

8. Умови застосування формул і коефіцієнт міцності зварного шва:

$$60^\circ \leq \delta_1 \leq 180^\circ$$

$$\sqrt{D \cdot (S - c)} = 0,033 \leq 0,11$$

$$\phi = 1$$

9. Параметр, що визначає відстань від вертикальної осі симетрії до сідлової опори:

$$\gamma = 2,83 \cdot \frac{a}{D} \cdot \sqrt{\frac{S-c}{D}} = 2,83 \cdot \frac{0,5}{0,6} \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3}}{0,6}} = 0,251$$

10. Параметр, що визначається шириною поясу сідлової опори:

$$\beta = 0,91 \cdot \frac{b}{\sqrt{D \cdot (S - c)}} = 0,91 \cdot \frac{0,18}{\sqrt{0,6 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})}} = 2,561$$

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

11. Загальне осьове мембранне напруження, МПа:

$$\sigma_{mx} = \frac{4 \cdot M_i}{\pi \cdot D^2 \cdot (S - c)} = \frac{4 \cdot 3,566 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,6^2 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})} = 1,849 \text{ МПа}$$

12. Розрахунок довжини циліндричної обичайки, м:

$$l = L = 3 \text{ м}$$

13. Допустимий вигинаючий момент за умови міцності циліндричної обичайки, МН · м:

$$M_m = \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot (D + S - c) \cdot (S - c) \cdot \sigma = \\ = \frac{3,14}{4} \cdot 0,6 \cdot (0,6 + 8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3}) \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3}) \cdot 148 = 0,289$$

14. Допустимий вигинаючий момент за умовою стійкості в межах пружності:

$$M_E = \frac{29 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_c} \cdot D^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right]^{2,5} = \\ = \frac{29 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 0,6^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})}{0,6} \right]^{2,5} = 0,683 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

15. Допустимий вигинаючий момент для циліндричної обичайки:

$$M = \frac{M_m}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_m}{M_E} \right)^2}} = \frac{0,289}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,289}{0,683} \right)^2}} = 0,266 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

16. Допустиме стискаюче зусилля за умовою міцності циліндричної обичайки, МН:

$$F_m = \pi \cdot (D + S - c) \cdot (S - c) \cdot \sigma = \\ = 3,14 \cdot (0,6 + 8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3}) \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3}) \cdot 148 = 1,924$$

17. Допустиме осьове стискаюче зусилля за умовою стійкості:

$$\frac{1}{D} = 10 \\ F_E = 310 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D^2 \cdot \frac{100 \cdot (S - c)}{D} = \\ = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,6^2 \cdot \frac{100 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})}{0,6} = 29,208 \text{ МН}$$

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

18. Допустиме осьове стискаюче зусилля:

$$F = \frac{F_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_M}{F_E}\right)^2}} = \frac{1,924}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,924}{29,208}\right)^2}} = 1,92 \text{ МН}$$

19. Допустиме поперечне зусилля за умовою міцності циліндричної обичайки:

$$Q_m = 0,25 \cdot \pi \cdot D \cdot (S - c) \cdot \sigma = \\ = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,6 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3}) \cdot 148 = 0,476 \text{ МН}$$

20. Допустиме поперечне зусилля за умовою стійкості:

$$Q_E = \frac{2,4 \cdot E \cdot (S - c)^2}{n_c} \cdot \left[0,18 + 3,3 \cdot \frac{D \cdot (S - c)}{l^2}\right] = \\ = \frac{2,4 \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})^2}{2,4} \cdot \left[0,18 + 3,3 \cdot \frac{0,6 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})}{2,5^2}\right] \\ Q_E = 1,549 \text{ МН}$$

21. Допустиме поперечне зусилля для циліндричної обичайки:

$$Q = \frac{Q_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_M}{Q_E}\right)^2}} = \frac{0,476}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,476}{1,594}\right)^2}} = 0,456 \text{ МН}$$

22. Геометричні характеристики циліндричної обичайки без підкладного листа:

$$y = \frac{D}{(S - c)} = \frac{0,6}{(8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})} = 87,977$$

$$u = \frac{L}{D} = \frac{6}{0,6} = 10$$

23. Коефіцієнт, що враховує часткове заповнення апарата рідиною:

$$K_9 = 1,26$$

Графік для визначення коефіцієнта K_9 приведено на рисунку 5.7.

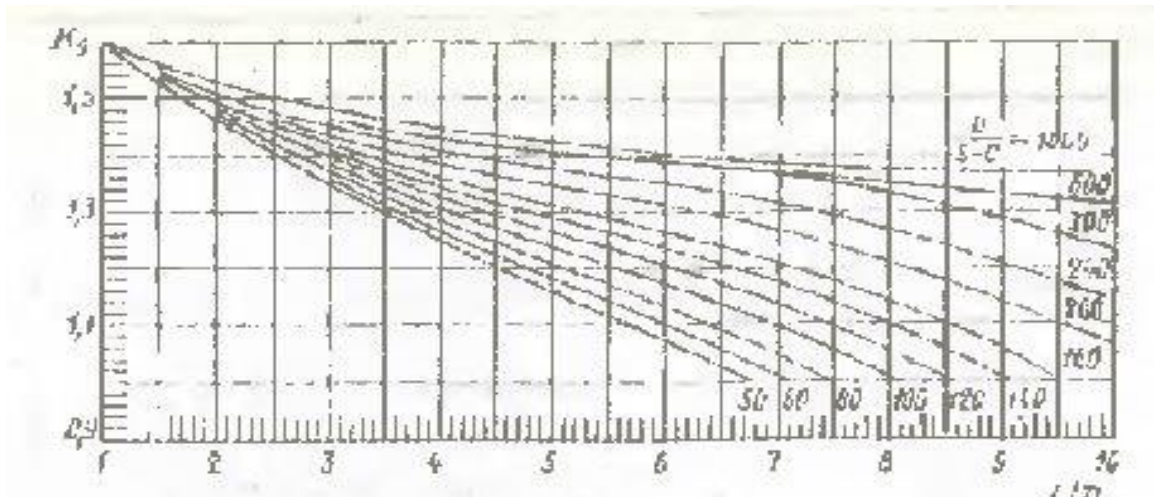


Рисунок 5.7 – Графік для визначення коефіцієнта K_9

24. Коефіцієнти, що враховують вплив ширини поясу опори:

$$e = 2,71828$$

$$K_{10} = \max\left(\frac{e^{-3,338 \cdot \sin(\beta)}}{\beta}, 0,25\right) = \max\left(\frac{2,71828^{-3,338 \cdot \sin(2,561)}}{2,561}, 0,25\right) = 0,25$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta} \cdot \cos(\beta)}{\beta} = \frac{1 - 2,71828^{-2,561} \cdot \cos(2,561)}{2,561} = 0,416$$

25. Коефіцієнти, що враховують вплив кута охоплення:

$$\delta_1 = \frac{120 \cdot \pi}{180} = \frac{120 \cdot 3,14}{180} = 2,094$$

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot 2,094}{\sin(0,5 \cdot 2,094)} = 0,982$$

$$K_{13} = \frac{\max(1,7 - \frac{2,1 \cdot \delta_1}{\pi}, 0)}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \frac{\max(1,7 - \frac{2,1 \cdot 2,094}{3,14}, 0)}{\sin(0,5 \cdot 2,094)} = 0,346$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \cdot \delta_1)} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot 2,094}{\sin(0,5 \cdot 2,094)} = 0,634$$

26. Коефіцієнти, які враховують відстань від осі опори до днища:

$$K_{15} = \min\left(1, \frac{0,8 \cdot \sqrt{\gamma} + 6 \cdot \gamma}{\delta_1}\right) = \min\left(1, \frac{0,8 \cdot \sqrt{0,13} + 6 \cdot 0,13}{2,094}\right) = 0,912$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 + \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \cdot \delta_1}} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 + 0,13)^2} \cdot \sqrt{\frac{3,14}{3 \cdot 2,094}} = 0,86$$

27. Коефіцієнти, що враховують геометричні розміри циліндричної обичайки:

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{S-c} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1}} =$$

$$= \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,6}{8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{0,18}{0,6} \cdot 2,094}} = 0,374$$

$$K_{19} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{S-c} \cdot \delta_1}} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,6}{8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3}} \cdot 2,094}} = 0,089$$

Перевірка несучої спроможності обичайки в перерізі під опорами.

Несучу спроможність слід перевіряти лише для схеми спирання А, оскільки наша схема спирання В, наступний пункт випускається.

Перевірка несучої спроможності/міцності ті стійкості/опорних вузлів, не підкріплених кільцями жорсткості ті підкладними листами

28. Коефіцієнт K_2

$$K_2 = 1,2$$

29. Коефіцієнти, що враховують ступінь навантаження загальними мембранними напруженнями:

У точці 2:

$$v_{212'} = -\sigma_{mx} \cdot \frac{K_2}{n_t \cdot \sigma} = -1,849 \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 148} = -9,995 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{222} = \left[\frac{p \cdot D}{4 \cdot (S - c)} - \sigma_{mx} \right] \cdot \frac{K_2}{n_t \cdot \sigma} =$$

$$= \left[\frac{0,24 \cdot 0,6}{4 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})} - 1,849 \right] \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 148} = 0,019$$

У точці 3:

$$v_{223} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S - c)} \cdot \frac{K_2}{n_t \cdot \sigma} = \frac{0,24 \cdot 0,6}{2 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})} \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 148} = 0,057$$

$$v_{212} = |v_{212'}| = 9,995 \cdot 10^{-3}$$

30. Коефіцієнти, що відображають відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину:

У точці 2:

$$v_{112} = \frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = \frac{0,23 \cdot 0,346 \cdot 0,912}{0,982 \cdot 0,25} = 0,296$$

$$v_{122} = -\frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -\frac{0,23 \cdot 0,346 \cdot 0,912}{0,982 \cdot 0,25} = -0,296$$

У точці 3:

$$v_{113} = \frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(\delta_1)} = \frac{0,53 \cdot 0,416}{0,634 \cdot 0,86 \cdot 0,374 \cdot \sin(2,094)} = -1,249$$

$$v_{123} = \frac{-0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(\delta_1)} = \frac{0,53 \cdot 0,416}{0,634 \cdot 0,86 \cdot 0,374 \cdot \sin(2,094)} = -1,249$$

31. Коефіцієнт K_1

$$K_{112} = \frac{1 + 3 \cdot v_{112} \cdot v_{212}}{3 \cdot v_{112}^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{9 \cdot (v_{112}^2) \cdot (1 - v_{212}^2)}{(1 + 3 \cdot v_{112}^2 \cdot v_{212}^2)^2} + 1} - 1 \right] =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot 0,226 \cdot 9,995 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 0,296^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{9 \cdot 0,296^2 \cdot (1 - (9,995 \cdot 10^{-3})^2)}{(1 + 3 \cdot 0,296^2 \cdot (9,995 \cdot 10^{-3})^2)^2} + 1} - 1 \right]$$

$$K_{112} = 1,295$$

$$K_{122} = \frac{1 + 3 \cdot v_{112} \cdot v_{222}}{3 \cdot v_{112}^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{9 \cdot (v_{112}^2) \cdot (1 - v_{222}^2)}{(1 + 3 \cdot v_{112}^2 \cdot v_{222}^2)^2} + 1} - 1 \right] =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot 0,296 \cdot 0,019}{3 \cdot 0,296^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{9 \cdot 0,296^2 \cdot (1 - 0,019^2)}{(1 + 3 \cdot 0,296^2 \cdot 0,019^2)^2} + 1} - 1 \right] = 1,304$$

$$K_{12} = \min(K_{112}, K_{122}) = 1,295$$

$$K_{113} = \frac{1 + 3 \cdot v_{113} \cdot v_{213}}{3 \cdot v_{113}^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{9 \cdot (v_{113}^2) \cdot (1 - v_{213}^2)}{(1 + 3 \cdot v_{113}^2 \cdot v_{213}^2)^2} + 1} - 1 \right] =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-1,249)}{3 \cdot (-1,249)^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{9 \cdot (-1,249)^2 \cdot (1 - 0^2)}{(1 + 3 \cdot (-1,249)^2)^2} + 1} - 1 \right] = 0,615$$

$$K_{123} = \frac{1 + 3 \cdot v_{123} \cdot v_{223}}{3 \cdot v_{123}^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{9 \cdot (v_{123}^2) \cdot (1 - v_{223}^2)}{(1 + 3 \cdot v_{123}^2 \cdot v_{223}^2)^2} + 1} - 1 \right] =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-1,249) \cdot 0,057}{3 \cdot (-1,249)^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{9 \cdot (-1,249)^2 \cdot (1 - 0,057^2)}{(1 + 3 \cdot (-1,249)^2 \cdot (0,057)^2)^2} + 1} - 1 \right] = 0,473$$

$$K_{13} = \min(K_{113}, K_{123}) = 0,473$$

32. Граничне напруження вигину:

У точці 2:

$$\sigma_{i2} = K_{12} \cdot \sigma \cdot \frac{n_t}{K_2} = 1,295 \cdot 148 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 239,513 \text{ МПа}$$

У точці 3:

$$\sigma_{i3} = K_{13} \cdot \sigma \cdot \frac{n_t}{K_2} = 0,473 \cdot 148 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 87,597 \text{ МПа}$$

33. Допустимі опорні зусилля від навантаження в осьовому напрямі:

$$F_2 = \frac{0,7 \cdot \sigma_{i2} \cdot \sqrt{D \cdot (S - c)} \cdot (S - c)}{K_{10} \cdot K_{12}} =$$

$$= \frac{0,7 \cdot 239,513 \cdot \sqrt{0,6 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})} \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})}{0,25 \cdot 0,982} = 0,298 \text{ МН}$$

34. Допустиме опорне зусилля від навантаження в кільцевому напрямі:

$$F_3 = \frac{0,9 \cdot \sigma_{i3} \cdot \sqrt{D \cdot (S - c)} \cdot (S - c)}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17}} =$$

$$= \frac{0,9 \cdot 87,597 \cdot \sqrt{0,6 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})} \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3})}{0,634 \cdot 0,86 \cdot 0,374} = 0,169 \text{ МН}$$

35. Ефективне осьове зусилля від місцевих мембранних напружень, що діють в області опори:

$$F_e = F_i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{S - c}} \cdot K_{13} \cdot K_{15} =$$

$$= 0,014 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot \sqrt{\frac{0,6}{8 \cdot 10^{-3} - 1,18 \cdot 10^{-3}}} \cdot 0,346 \cdot 0,912 = 0,033 \text{ МН}$$

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

36. Умова стійкості для обичайки апарата, який навантажений внутрішнім надлишковим тиском:

$$\frac{M_i}{M} + \frac{F_e}{F} + \left(\frac{Q_i}{Q}\right)^2 = 0,031 \leq 1$$

37. Умова міцності опорного вузла:

$$F_i = 0,0142 \text{ МН} \geq \min(F_2, F_3) = 0,1688 \text{ МН}$$

Умова міцності виконується.

6. Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апарату

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При монтажі конденсатор піднімається за допомогою вантажопідійомних пристроїв за опори, що кріпляться на корпусі вище центра тяжіння. Нижня частина апарата транспортується до рами моноблоку з таким розрахунком, щоб апарат встановився на раму моноблоку при досягненні горизонтального положення. Вантажопідійомність крана на необхідному для монтажу вильоті крюка повинна бути не меншою за масу апарата.

Після встановлення апарату на місце необхідно провести перевірку відхилень від проектних осей та відміток в горизонтальному та вертикальному напрямках. Перевірка правильності встановлення має проводитись з допомогою теодоліта та рівнеміра.

Допустимі відхилення по головним осям апарата повинні знаходитися в межах від мінус 20 до плюс 20 мм.

Перевірка правильності встановлення має бути проведена за допомогою теодоліта, рівнеміра та підвісу.

При монтажі окремих частин необхідно звернути увагу на розташування фланцевих з'єднань та їх відхилення від проектних відміток. При монтажі комплектуючих деталей необхідно слідкувати, щоб співпадали всі роз'ємні з'єднання. Важливо, щоб співпадали з'єднання трубопроводів. Встановлення обладнання та монтаж трубопроводів і вимірювальних приладів необхідно виконувати таким чином, щоб була забезпечена можливість підходу до обладнання засобів транспорту, обслуговування, ремонту, а також можливість контролю технологічних параметрів.

Не знайдені і не усунені до запуску неполадки, можуть призвести до довгострокових і дорогих ремонтів під час експлуатації. Тому необхідно до початку запуску здійснити точний контроль монтажу. При пуску установки всі трубопроводи повинні бути відкритими. Після закінчення монтажно-збиральних робіт апарат має пройти випробування. Спочатку проводять підготовчі роботи, пов'язані з оглядом та перевіркою стану всіх частин та вузлів апарата. При цьому особливу увагу необхідно звернути на присутність в конструкції арматури,

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приладів, кришок, заглушок, болтів, прокладок та інших деталей, які забезпечують герметичність системи.

Проводиться гідравлічне випробування теплообмінника разом з трубопроводами пробним тиском для перевірки герметичності, а також щільності всіх роз'ємних з'єднань.

Підготовка теплообмінника до експлуатації під час пуско-налагоджувальних робіт включає перевірку витрат теплоносіїв, температур теплоносіїв на вході та на виході з апарату, тиск в трубопроводі. При цьому слід звернути увагу на легкість та надійність управління технологічним процесом.

Експлуатація апарата при тиску і температурі, що виходить за межі, вказані в паспорті:

д) апарати не повинні бути джерелом шуму та вібрації в зоні їх обслуговування вище встановлених норм ДСН 3.3.6.039-99;

е) на основі вимог діючих загальних та галузевих нормативних документів, інструкції і технологічного регламенту установки на підприємстві, що експлуатує апарат, повинні бути розроблені і затверджені у встановленому порядку конкретні правила техніки безпеки при проведенні його монтажу, пуску та експлуатації і виробнича інструкція, які повинні бути видані обслуговуючому персоналу.

ж) попереджувальні знаки та маркіровані щитки повинні виконуватись на місці монтажу у відповідності з ГОСТ14202-69.

Підготовка до роботи:

а) підприємство-власник зобов'язане до пуску апарата в експлуатацію отримати технологічний регламент установки з умовами експлуатації обладнання;

б) перед пуском апарата в експлуатацію необхідно провести видалення повітря з порожнин продуванням інертним газом. Витіснення газом повітряної суміші вважається закінченим, коли вміст кисню в газі, що виходить з апарата, складає не більше 2% за показниками газоаналізатора.

Перед пуском апарата необхідно перевірити:

а) наявність дозволу Держтехнагляду на введення апаратів в експлуатацію;

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) надійність болтових і фланцевих з'єднань, в тому числі укомплектованість кріплення;

в) правильність та надійність приєднання технологічних трубопроводів;

г) надійність роботи регулюючої та запобіжної арматури, зв'язаної з апаратом технологічною схемою.

Перевірка технічного стану і технічне обслуговування апарата:

а) за необхідністю черговим слюсарем проводиться ремонт або заміна манометрів, термометрів тощо у випадку виходу з ладу.

б) планово-попереджувачий ремонт проводиться у відповідності до діючого на підприємстві положення.

Правила зберігання:

а) спосіб зберігання у замовника повинен забезпечувати попередження механічних пошкоджень частин апарата;

б) штуцера апарата повинні бути закриті.

Інші вимоги за ГОСТ 26-291-79.

За результатами випробувань виявляють дефекти та недоліки, які заносять в акт випробувань на апарат.

Апарат вважається прийнятим в експлуатацію після підписання акту з боку представників монтажної організації та замовника.

Оптимальний режим роботи теплообмінника забезпечується підтриманням заданих температур, витрат і тисків.

Для безперебійної роботи устаткування необхідно слідкувати за постійним дотриманням правил технічної експлуатації, своєчасним виконання планово-попереджувальних ремонтів устаткування й наявності запасних частин для вузлів і деталей, які швидко зношуються. Особливу увагу слід приділяти контролю щодо виникнення корозії.

7. Рівень стандартизації та уніфікації

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Стандартизація – це діяльність з метою досягнення максимального ступеня упорядкування у певній галузі шляхом встановлення положень для загального і багаторазового використання, щодо реально існуючих і можливих завдань.

Уніфікація – це вибір оптимальної кількості різновидної продукції, процесів та послуг а також значень їх параметрів.

Використання стандартних та уніфікованих деталей зменшує витрати, пов'язані з підготовкою виробництва, сприяє зростанню продуктивності виробництва. Рівень стандартизації та уніфікації оцінюється відповідними коефіцієнтами.

Загальна кількість деталей $N=35$, з них стандартних $n_c=27$, уніфікованих $n_y=2$ і унікальних $n_{yn}=6$.

1. Коефіцієнт стандартизації [17]:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{27}{35} = 0,77.$$

2. Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності [17]:

$$K_y = \frac{n_c + n_y}{N} = \frac{27 + 2}{35} = 0,83.$$

При розробці технічного проекту встановлюється коефіцієнт застосування стандартних деталей K . Виходячи з того, що майже всі обрані деталі апарата є стандартними, то і значення K є досить високим.

8. Техніко-економічне обґрунтування модернізації

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Прагнення зменшити затрати первинної енергії (споживання палива) без зниження або навіть із збільшенням віддачі енергії кінцевому споживачу за рахунок більш раціонального способу її перетворення – головна тенденція сучасної техніки. Це також стосується систем опалення приміщень та промислових об'єктів.

Модернізація конденсатора полягає у тому, що нове виконання його теплообмінних труб забезпечує вчасне видалення утворюваної на їх зовнішній поверхні плівки конденсату, що інтенсифікує процес конденсації. На ділянці між трубними решітками в нижній частині кожну з теплообмінних труб оснащено вертикальною поздовжньою планкою.

Таке виконання кожної з теплообмінних труб звільняє її нижню частину від товстої плівки конденсату, а отже й інтенсифікує процес конденсації.

Таблиця 8.1 – Техніко-економічні показники конденсатора

Найменування показників	Одиниця виміру	Апарат до модернізації	Апарат після модернізації
1	2	3	4
Продуктивність	кг/с	2,1	2,2
Основний матеріал	—	Сталь20	Сталь20
Висота апарата	мм	950	980
Маса апарата	кг	2300	2500
Тривалість ремонтного циклу	Рік	1,5	2
Клас небезпечності за ГОСТ 12.1.007-76	—	До 2 кл	До 2 кл.
Пожежонебезпека за ГОСТ 12.1.004-91	—	пожежонебезпечне	пожежонебезпечне
Категорія вибухонебезпечності за ГОСТ Р 513305-99	—	В	В
Коефіцієнт стандартизації і уніфікації	%	85; 90	77; 83

Продовження таблиці 8.1

Ринкова ціна нового аналогічного устаткування	тис. грн	—	265
Балансова (первісна) вартість устаткування	тис. грн	190	—
Залишкова вартість устаткування, яке підлягає модернізації	тис. грн	0	—

Техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації конденсатора.

Модернізація устаткування означає його вдосконалення з метою попередження або усунення фізичного зносу, техніко-економічного старіння та підвищення технічних параметрів до сучасних вимог.

Економічно доцільно здійснювати модернізацію устаткування під час проведення капітального ремонту. Зазвичай модернізація устаткування хімічної, нафтопереробної галузей промисловості збільшує продуктивність на 10-18%, а понесені згідно з нею витрати не перевищують половини вартості знарядь виробництва аналогічного призначення. Розрахунки ефективності на проведення модернізації устаткування полягають у визначення коефіцієнта ефективності витрат n_{Pi}

Сукупні витрати M_i на проведення модернізації устаткування розраховуються за формулою [18, с.8]:

$$M_i = \Phi_{i\text{перв}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 190 \cdot 0,06 = 11,4 \text{ тис. грн}$$

де $\Phi_{i\text{перв}}^{\text{мод}} = 190$ тис. грн - первісна (відновлена) вартість устаткування, яке підлягає модернізації;

$K_i = 0,06$ – коефіцієнт витрат, величина якого залежить від виду і типу устаткування, яке підлягає модернізації [18, таблиця 2].

Модернізоване устаткування у процесі подальшої експлуатації, як правило, вимагає більш високих експлуатаційних витрат у порівнянні з аналогічним новим устаткуванням.

Експлуатаційні (поточні) витрати при роботі устаткування визначаються за формулою

$$\Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} = 265 \text{ тис. грн} - \text{первісна вартість нового (аналогічного) устаткування.}$$

Тоді

$$S_{ei} = q_{bi} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} - q_{bH} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} = 0,12 \cdot 265 - 0,10 \cdot 265 = 5,3 \text{ тис. грн.}$$

де $q_{bi} = 0,12$ – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації [18, таблиця 3];

$q_{bH} = 0,10$ – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування [18, табл 3]:

Коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування α розраховується по формулі [18, стр 12]

$$\alpha = \frac{\Pi_i}{\Pi_{\text{нов}}} = \frac{3735}{3850} = 0,97.$$

де $\Pi_i = 0,3735$ кг/с – продуктивність устаткування, яке підлягає модернізації;

$\Pi_{\text{нов}} = 0,3850$ кг/с – продуктивність нового аналогічного устаткування.

Коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування [18, с. 12]:

$$\beta = \frac{T_{\text{мод}}}{T_{\text{нов}}}, \quad (8.5)$$

де $T_{\text{мод}}$ – тривалість ремонтного циклу устаткування, яке підлягає модернізації;

$T_{\text{нов}}$ – тривалість ремонтного циклу аналогічного нового устаткування.

Приймаємо [18],

$$\beta = 0,95.$$

Коефіцієнт ефективності витрат: [18, с. 7].

$$n_{Pi} = 1 - \frac{M_i + S_{ei}}{K_{Hi} \alpha \beta + S_{ai}} = 1 - \frac{11,4 + 5,3}{250 \cdot 0,97 \cdot 0,95 + 0} = 0,927.$$

де M_i – сукупні витрати на проведення модернізації устаткування, грн.;

S_{ei} – перевищення експлуатаційних витрат модернізованого устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням, грн.;

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$K_{Hi} = 250$ тис. грн – оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування;
 α - коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

β – коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

$S_{ai} = 0$ – втрати від недоамортизації устаткування, яке підлягає модернізації

Додатне значення коефіцієнта ефективності витрат свідчить про те, що модернізація з економічної точки зору є доцільною.

У цьому розділі було виконано розрахунок по техніко-економічному обґрунтуванню доцільності установки на теплообмінних трубах у випарному апараті вертикальної повздовжньої планки. Було отримано додатній коефіцієнт ефективності витрат, а саме $n_{pi} = 0,927$. Це дає змогу стверджувати, що модернізація з економічної точки зору є доцільною, тобто веде за собою підвищення ряду визначальних характеристичних показників випарного апарата.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Висновок

У дипломному проекті освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» на тему «Модернізація конденсатора установки виробництва етилового спирту. Комплексний» розроблено горизонтальний кожухотрубний конденсатор для конденсування етанолу.

Нове виконання теплообмінних труб забезпечує вчасне видалення утворюваної на їх зовнішній поверхні плівки конденсату, що інтенсифікує процес конденсації. Воно забезпечує стікання утворюваного конденсату у вигляді двох потоків у місцях переходу повздовжньої перегородки в безпосередньо циліндричну поверхню кожної теплообмінної труби.

У результаті виконання дипломного проекту було зроблено опис технологічного процесу, вибрано тип конденсатора, обґрунтовано вибір конструкції апарата, порівняно основні показники розробленої конструкції з аналогами, проведено патентне дослідження, розроблено рекомендації з охорони праці, проведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції: параметричний, діаметра штуцерів, розрахунок опор, товщина стінки циліндричної обичайки, та гідравлічний, розроблено рекомендації щодо монтажу та експлуатації, визначено рівень стандартизації та уніфікації, здійснено техніко-економічне обґрунтування модернізації. Частина розрахунків виконано у мові програмування Basic.

Графічна частина проекту виконана у середовищі КОМПАС 3DV-17.1 і включає в себе принципову схему установки – А1, складальні креслення: конденсатор – А1, корпус – А1, трубна решітка – А3, опора рухома – А2, кришка – А3. До складальних креслень виконано специфікації.

За період виконання проекту отримано деклараційний патент України на корисну модель №130664 F28D 7/00, направлену на інтенсифікацію процесів теплообміну у конденсаторі. Опубліковано дві тези на всеукраїнських науково-практичних конференціях студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів».

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Вывод

В дипломном проекте образовательно-квалификационного уровня «бакалавр» на тему «Модернизация конденсатора установки производства этилового спирта. Комплексный» разработан горизонтальный кожухотрубный конденсатор для конденсации этанола.

Новое исполнение теплообменных труб обеспечивает своевременное удаление создаваемой на их внешней поверхности пленки конденсата, интенсифицирует процесс конденсации. Оно обеспечивает стекание создаваемого конденсата в виде двух потоков в местах перехода продольной перегородки в непосредственно цилиндрическую поверхность каждой теплообменной трубы.

В результате выполнения дипломного проекта было сделано описание технологического процесса, выбрано тип конденсатора, обоснован выбор конструкции аппарата, по сравнению основные показатели разработанной конструкции с аналогами, проведения патентное исследование, разработаны рекомендации по охране труда, проведены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции: параметрический, диаметра штуцеров, расчет опор, толщина стенки цилиндрической обечайки, и гидравлический, разработаны рекомендации по монтажу и эксплуатации, определено уровень стандартизации и унификации, осуществлено технико-экономическое обоснование модернизации. Часть расчетов выполнено в языке программирования Basic.

Графическая часть проекта выполнена в среде КОМПАС 3DV-17.1 и включает в себя принципиальную схему установки - А1, сборочные чертежи: конденсатор – А1, корпус – А1, трубная решетка – А3, опора подвижная – А2, крышка – А3. К сборочным чертежам выполнены спецификации.

За период выполнения проекта получено декларационный патент Украины на полезную модель №130664 F28D 7/00, направленную на интенсификацию процессов теплообмена в конденсаторе. Опубликовано два тезиса на

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

всеукраинских научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Оборудование химических производств и предприятий строительных материалов».

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Conclusion

In the diploma project of the educational qualification level "Bachelor" on the topic "Modernization of the condenser in production of ethanol" a horizontal shell and tube condenser for condensation of methanol

The new execution of heat exchange tubes ensures timely removal of the condensate film formed on their outer surface, which intensifies the process of condensation. It provides the drainage of the formed condensate in the form of two streams in the places of transition of the longitudinal depression in the directly cylindrical surface of the leather heat exchanger.

As a result of the completion of the diploma project, a description of the technological process was made, the type of capacitor was chosen, the choice of the design of the apparatus justified, the basic indicators of the design developed with the analogs were comparatively, a patent research was conducted, recommendations on occupational safety were worked out, calculations were made that confirm the efficiency and reliability of the design: diameter of joints, calculation of supports, wall thickness of cylindrical shell, and hydraulic, recommendations on installation and operation, recommendations The level of standardization and unification is carried out, the feasibility study of modernization is carried out. Part of the calculations is done in the programming language Basic.

The graphic part of the project is executed in the environment of COMPAS 3DV-17.1 and includes the basic scheme of installation – A1, assembly drawings: capacitor – A1, case – A2, pipe array – A2, support support –A3, cover –A3. To the assembly drawings the specifications are executed.

During the project implementation, Ukraine received a declarative patent for useful model №130664 F28D 7/00, aimed at intensifying the heat transfer processes in the condenser. Two theses have been published at All-Ukrainian scientific and practical conferences of students, post-graduate students and young scientists "Equipment of chemical manufactures and enterprises of building materials".

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Чечель С.Т. “Расчет тепломассообменного оборудования” стр. 89-93
2. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с., ил.
3. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: 1991. - 496с.
4. Патент №124282U, МПК (2006.01) F28F1/42, F28F9/00, F28D7/08. Кожухотрубний теплообмінник/ Шиховцев Євгеній Романович, Степанюк Андрій романович . Заявка № u 2017 12289, 12.12.2017; Опубл.26.03.2018
5. Патент №124726U, МПК (2006.1) F28F3/08 Пластинчатий теплообмінник – конденсатор / Тищенко Катерина Вітаївна (UA), Двойнос Ярослав Григорович (UA) . Заявка № u 2017 09612, 02.10.2017; Опубл.25.04.2018
6. Патент №115492U, МПК (2006.1) F28B9/08, F28F1/00 Вертикальний кожухотрубний теплообмінник/ Осадчий Василь Олександрович, Осадчий Василь Олександрович (UA) . Заявка № u 2016 05123, 11.05.2016; Опубл. 25.04.2017
7. Patent US 9,714,338 B1,Int. CI. C10M 175/02, C10G7/06, B01D 3/10, B01D 3/32, B01D 3/00, B01D 1/06, C10G 53/02.Method for recycling liquid waste/ Rohit D Joshi (US).Appl. № 15318,697; F.Jun.19.2016, Pub. Jul.25.2017,bul. 2017/17
8. Patent US 9,746,253 B2, Int. F28F3/08, F28F3/14,F28F11/06.Heat exchanger / Fredrik Blomgren (SE), Magnus Nillson (SE), Hideo Noda. Appl. № 13/131,309; F. Nov.25.2009, Pub. Aug.29.2017, PCT № PCT/SE2009/051334
9. Основи охорони праці/ [Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. та ін.]; під ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. —[2 – е вид.]. — Київ: Основа, 2006. – 448 с.
10. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты химической технологии. 10-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Химия. 1987.- 576 с.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. — Л.: Химия, 1991. — 352 с., ил.
12. Михеев М.А., Михеева. И. М. Основы теплопередачи. — «Энергия», 1977. — 344 с.
13. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском: навч. посіб./ — К: НТУУ «КПІ», 2011. — 272 с. — 300 пр.
14. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання та розрахунок фланцевого з'єднання»: Навч. посібник /. — К.НМК ВО, 1992 — 104 с.
15. Доброногов.В.Г.,Мікульонок.І.О. «Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень»: Навч. посібник /. — К.НМК ВО, 1995 — 167 с.
16. Мікульонок І.О. Виготовлення монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв— Київ НТУУ «КПІ», 2012 — 442с.
17. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. -М:Химия 1982. — 848 с.
18. А. М. Задольський. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів бакалаврів (для студентів інженерно – хімічного факультету). Київ, 2010 р. — 27 с.

					ЛН51.065134.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Додаток А

Документація до патентного дослідження

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН51.17РП

Найменування теми Конденсатор шифр теми ЛН51.065344.001

Етап Проектування випарного апарату та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

ЛН51.01, 07.02.2019

Обґрунтування регламенту пошуку:

Предмет пошуку – 1) конденсатор (Об'єктом пошуку є винаходи й корисні моделі).

Мета пошуку інформації – визначення патентної ситуації щодо конденсаторів (визначення патентоздатності проєктованого апарату й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

Визначення держав пошуку. Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, Російська Федерація, США, Велика Британія, Німеччина, Франція. Японія.

Ретроспективність. Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, проте регламент пошуку встановлюємо такий: 2017–2019 р.р.

Класифікаційні індекси. Міжнародна патентна класифікація: МПК F28B9/08.

Уніфікована десяткова класифікація УДК 66.045

Джерела інформації. 1) патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Держпатенту України, Роспатенту; 2) науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічного та нафтопереробного виробництва; 3) інтернет ресурси: <http://ep.espacenet.com/>, <http://www.uipv.org>, <http://uapatents.com>, www.freepatent.ru/, <http://www1.fips.ru/>,.

Початок пошуку 07.02.2019 Закінчення пошуку 01.06.2018

					ЛН51.0653402.001 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛМ41.1ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛН51.065344.000
(номер , дата)Етап Проектування апарата та його складових частинНомер, дата регламентного пошуку ЛН51.1.РП 07.02.2019Початок пошуку 07.02.2019 Закінчення пошуку 01.06.2019

Таблиця А.1 – Регламент пошуку (форма Б.1 згідно ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, УДК	Ретро-спективність пошуку	Джерела інформації
Кожухотрубний теплообмінник (конденсатор)	Визначення патентно-здатності та патентної чистоти проектового апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці.	Україна, Російська Федерація, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія.	МПК (2006.01), F28B9/08, УДК 66.045	2017 – 2018.	Національні і зарубіжні офіційні бюлетені. Описи винаходів і корисних моделей.

Таблиця А.3 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	бібліографічні дані	відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Кожухотрубний теплообмінник	Патент №124282U, МПК (2006.01) F28F1/42, F28F9/00, F28D7/08 Кожухотрубний теплообмінник/ Шиховцев Євгеній Романович, Степанюк Андрій романович . Заявка № u 2017 12289, 12.12.2017; Опубл.26.03.2018, Бюл. № 6.	Діє
Пластинчатий теплообмінник – конденсатор	Патент №124726U, МПК (2006.1) F28F3/08 Пластинчатий теплообмінник – конденсатор / Тищенко Катерина Вітаївна (UA), Двойнос Ярослав Григорович (UA) . Заявка № u 2017 09612, 02.10.2017; Опубл.25.04.2018, Бюл. № 8.	Діє
Вертикальний кожухотрубний теплообмінник	Патент №115492U, МПК (2006.1) F28B9/08, F28F1/00 Вертикальний кожухотрубний теплообмінник/ Осадчий Василь Олександрович, Осадчий Василь Олександрович (UA) . Заявка № u 2016 05123, 11.05.2016; Опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8	Діє
Вертикальний кожухотрубний теплообмінник	Patent US 9,714,338 B1, Int. Cl. C10M 175/02, C10G7/06, B01D 3/10, B01D 3/32, B01D 3/00, B01D 1/06, C10G 53/02. Method for recycling liquid waste/ Rohit D Joshi (US). Appl. № 15318,697; F. Jun.19.2016, Pub. Jul.25.2017, bul. 2017/17	Діє
Пластинчатий теплообмінник – конденсатор	Patent US 9,746,253 B2, Int. F28F3/08, F28F3/14, F28F11/06. Heat exchanger / Fredrik Blomgren (SE), Magnus Nillson (SE), Hideo Noda. Appl. № 13/131,309; F. Nov.25.2009, Pub. Aug.29.2017, PCT № PCT/SE2009/051334	Діє

Таблиця А.4 – Інша науково-технічна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Джерела інформації	Бібліографічні дані
Конденсатор	Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии.	М.: Химия, 1991. - 496с.
Конденсатор	Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химических технологии	М.: Химия, 1968 – С.472
Конденсатор	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты хим. технологии	М.: Химия, 1971 – С.387

Висновок

У результаті проведених патентних досліджень встановлено:

Пропонований апарат і його складові частини відповідають умовам патентної чистоти винаходу (корисної моделі) через те що усі суттєві ознаки найближчих аналогів не використано в проектних апаратах.

Додаток Б

Програма перевірного розрахунку фланцевого з'єднання

На рисунку Б.1 зображено блок – схему до перевірного розрахунку фланцевого з'єднання

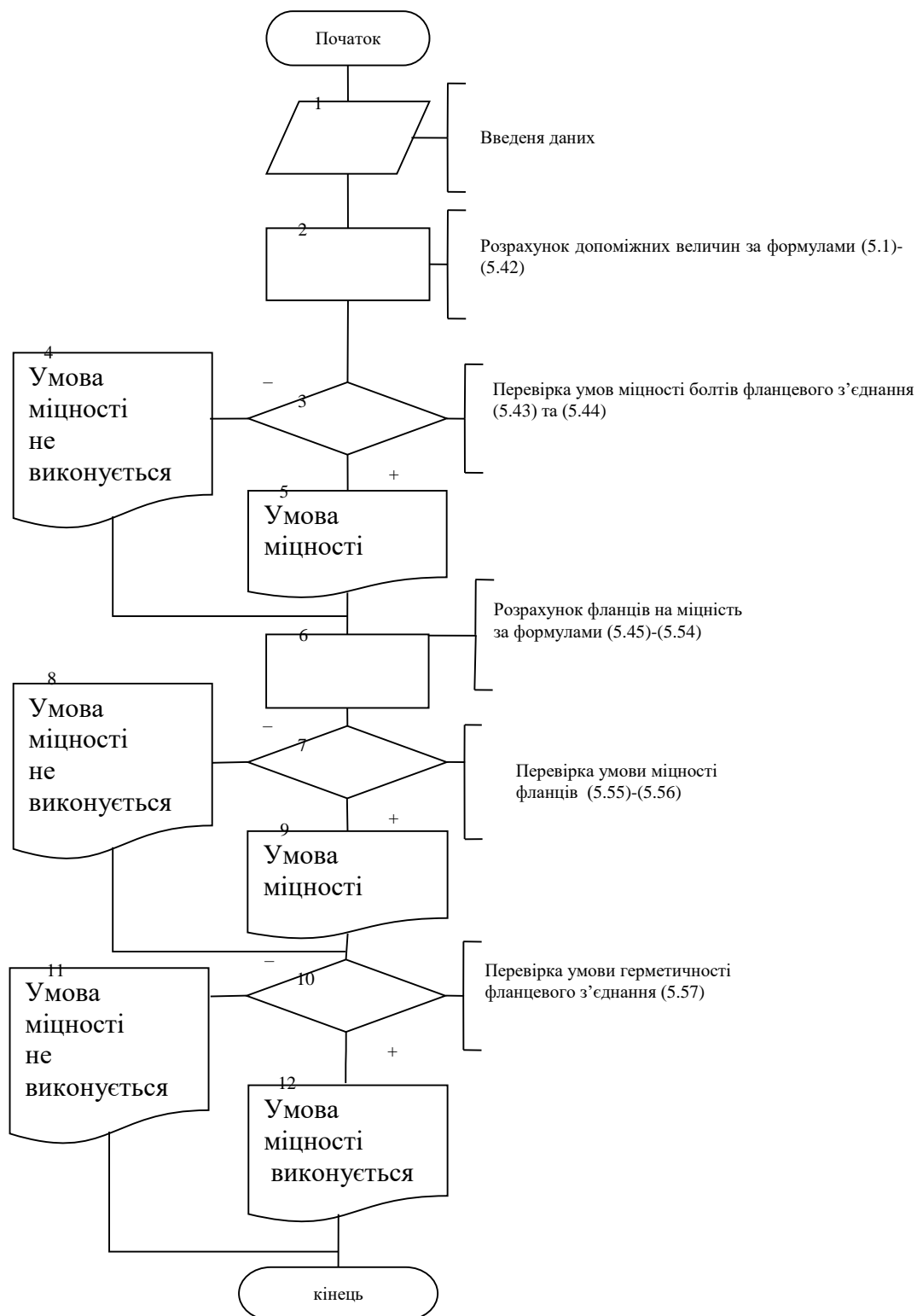


Рисунок Б.1 – Блок – схема перевірного розрахунку фланцевого з'єднання

Ідентифікатори роз'яснені в таблиці Б.1

Таблиця Б.1 перелік ідентифікаторів

Найменування величини	Позначення	Ідентифі- катор	Розмірність
1	2	3	4
Внутрішній надлишковий тиск	P	P	МПа
Діаметр фланця	D_{ϕ}	Df	м
Діаметр болтового кола	D_B	Db	м
Внутрішній діаметр циліндричної обичайки	D	D	м
Зовнішній діаметр прокладки	D_p	D_{Π}	м
Кількість болтів	z	z	
Діаметр різьби болта	d_b	db	м
Товщина першого фланця	h_1	hf1	м
Товщина другого фланця	h_2	hf2	м
Товщина прокладки	h	h	м
Ширина прокладки	b	b	м
Прокладочний коефіцієнт	m	m	-
Питоме зусилля зминання прокладки	q	q	МПа
Допустиме напруження матеріалу фланців при $t=20^{\circ}$	$[\sigma]_{\tau\phi}^{20}$	σ_{20}	МПа
Допустиме напруження матеріалу фланців при розрахунковій температурі	$[\sigma]_{\tau\phi}^t$	σ_t	МПа
Модуль пружності матеріалу фланців при $t=20^{\circ}$	E^{20}	E	МПа
Модуль пружності матеріалу фланців при розрахунковій температурі	E^t	E_t	МПа
Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланців	$\alpha_{\tau\phi}^t$	α_{tf}	K^{-1}
Допустиме напруження болтів фланців при $t=20^{\circ}$	$[\sigma]_b^{20}$	σ_b	МПа

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4
Допустиме напруження матеріалу болтів при розрахунковій температурі	$[\sigma]_B^t$	σ_{tb}	МПа
Модуль пружності матеріалу болтів при розрахунковій температурі	E_B^t	E_{bt}	МПа
Коефіцієнт тертя	f_1	f_l	-
Додаток до розрахункової товщини циліндричної обичайки	c	c	-
Коефіцієнт міцності зварного шва	φ	φ	-
Відношення	β	β	-
Середній діаметр прокладки	D_{cn}	D_{cn}	м
Ефективна ширина прокладки	b_E	b_e	м
Конструктивний коефіцієнт для фланця	K_ϕ	K_f	-
Коефіцієнт зони впливу	x	x	-
Конструктивний коефіцієнт для фланця	$\lambda_{\phi 1}$	$\lambda_{f 1}$	-
Конструктивний коефіцієнт для фланця	$\lambda_{\phi 2}$	$\lambda_{f 1}$	-
Поправковий коефіцієнт для фланця	$\psi_{1\phi}$	ψ_{1f}	-
Поправковий коефіцієнт для фланця	$\psi_{2\phi}$	ψ_{2f}	-
Геометричний параметр фланців	$j_{\phi 1}$	j_{f1}	-
Геометричний параметр фланців	$j_{\phi 2}$	j_{f2}	-
Безрозмірний параметр фланців	T_ϕ	T_f	-
Безрозмірний параметр фланців	$\omega_{\phi 1}$	$\omega_{f 1}$	-
Безрозмірний параметр фланців	$\omega_{\phi 2}$	$\omega_{f 2}$	-
Розрахункова довжина болтів	L_B	L_b	м
Лінійна піддатливість прокладки	$y_{п}$	y_p	

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4
Площа поперечного перерізу болта	f_B	fb	м ²
Параметр жорсткості фланцевого з'єднання	A_ϕ	Af	-
Параметри жорсткості фланця	$B_{\phi 1}$	bf1	-
Параметри жорсткості фланця	$B_{\phi 2}$	Bf2	-
Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання	γ	γ	-
Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання	α_ϕ	α_f	-
Рівнодійна внутрішнього тиску	Q_g	Q	МН
Реакція прокладок в робочих умовах	R_n	Rn	МН
Зусилля, що виникає від дії температурної деформації фланцевого з'єднання	$Q_{t\phi}$	Qt	МН
Монтажні болтові навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку	P'_{B1}	Pb1`	МН
	P''_{B2}	Pb1``	МН
	P'''_{B3}	Pb1```	МН
Розрахункове монтажне болтове навантаження	P_{B1}	Pb1	МН
Болтове навантаження за робочих умов	P_{B2}	Pb2	МН
Розрахункове навантаження на болти	$P_{B\phi}$	Pbf	МН
Напруження розтягання болтів за умов монтажу	σ_B^{20}	$\sigma b20$	МПа
Напруження розтягання болтів за робочих умов	σ_B^t	σbt	МПа
Скручуючий момент, що виникає при затягуванні гайок	$M_{скр}$	М	МН·м
Дотичне напруження в болтах	τ_B	τ_B	МПа
Еквівалентне напруження в болтах	σ_{BE}^{20}	σbe	Мпа
Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за умов монтажу	$M_{01\phi}$	M01f	МН·м

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4
Еквівалентне напруження в болтах	σ_{BE}^t	σ_{bet}	МПа
Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов	$M_{02\phi}$	M02f	МН·м
Розрахунковий приведений момент у діаметральному перерізі фланця	$M_{0\phi}$	M0f	МН·м
Допоміжна величина	ε	ε	
Розрахунковий діаметр	D	D	м
Максимальні напруження в перерізах S_1 фланців від дії згинаючого моменту M_0	$\sigma_{1\phi 1}$	σ_{1f1}	МПа
	$\sigma_{1\phi 2}$	σ_{1f2}	МПа
Напруження в перерізі S_0 фланців від дії згинаючого моменту M_0 ,	$\sigma_{0\phi 1}$	σ_{0f1}	МПа
	$\sigma_{0\phi 1}$	σ_{0f2}	МПа
Кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту M_0	$\sigma_{\kappa\phi 1}$	$\sigma_{\kappa f1}$	МПа
	$\sigma_{\kappa\phi 2}$	$\sigma_{\kappa f2}$	МПа
Еквівалентне напруження в перерізі S_1 фланців	$\sigma_{E\phi 1}^{S_1}$	σ_{ef1}	МПа
	$\sigma_{E\phi 2}^{S_1}$	σ_{ef1}	МПа
Кільцеві та меридіональні напруження у втулці фланців від дії внутрішнього тиску	$\sigma_{x\phi 1}$	σ_{xf}	МПа
	$\sigma_{y\phi 1}$	σ_{yf}	МПа
Еквівалентні напруження в перерізі S_0 втулки фланців	$\sigma_{E\phi 1}^{S_0}$	σ_{ef1}	МПа
	$\sigma_{E\phi 1}^{S_0}$	σ_{ef2}	МПа
Допустиме напруження матеріалу фланців в перерізі S_0	$[\sigma_{\phi 1}^{S_0}]$	σ_{flsc}	МПа

Програма перевірного розрахунку фланцевого з'єднання

Матеріал прокладки - пароніт

$$D_f := 0.72$$

$$d_b := 0.02$$

$$\beta := 1$$

$$P := 0.1 \text{ €}$$

$$c_{\text{max}} := 0.00118$$

$$b := 12 \cdot 10^{-3}$$

$$D_b := 0.68$$

$$Z_b := 20$$

$$m_{\text{max}} := 2.5$$

$$M := 0$$

$$E := 1.9489 \cdot 10^5$$

$$\sigma_t := 148$$

$$q := 20$$

$$D := 0.6$$

$$d_o := 23 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_{tf} := 17 \cdot 10^{-6}$$

$$S_0 := 0.008$$

$$\sigma_{20} := 150$$

$$\phi := 0.9$$

$$D_n := 0.644$$

$$\sigma_b := 130$$

$$f_1 := 0.1$$

$$hf_1 := 0.025$$

$$hf_2 := 0.025$$

$$h := 0.002$$

$$\Theta := 0.006$$

$$E_b := 1.92 \cdot 10^5$$

$$t := 80$$

$$\alpha_{tb} := 12.2 \cdot 10^{-6}$$

Розрахунок:

1. Відношення більшої товщини втулки до меншої $\beta=1$

2. Середній діаметр прокладки, м:

$$D_{cn} := D_n - b = 0.632$$

3. Ефективна ширина прокладки, м:

$$b_e := 0.06 \cdot \sqrt{b} = 6.573 \times 10^{-3}$$

4. Конструктивний коефіцієнт для фланця:

$$K_{\text{max}} := \frac{D_f}{D} = 1.2$$

5. Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{f1} := \frac{hf_1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0.361$$

$$\lambda_{f2} := \frac{hf_2}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0.361$$

6. Поправковий коефіцієнт для фланців:

$$\psi_{1f} := 1.28 \cdot \log(K) = 0.101$$

					ЛН51.06534.02.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

7. Поправковий коефіцієнт для фланців:

$$\psi_{2f} := \frac{K + 1}{K - 1} = 11$$

8. Поправковий коефіцієнт для перерізу S_0 :

$$\psi_{3f} := 1$$

9. Геометричні параметри фланців:

$$j_{f1} := \frac{hf1}{S_0} = 3.125$$

$$j_{f2} := \frac{hf2}{S_0} = 3.125$$

10. Безрозмірний параметр фланців:

$$T_f := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.837$$

11. Безрозмірні параметри фланців:

$$\omega_{f1} := \left[1 + 0.9 \cdot \lambda_{f1} \cdot (1 + \psi_{1f} \cdot j_{f1}^2) \right]^{-1} = 0.607$$

$$\omega_{f2} := \left[1 + 0.9 \cdot \lambda_{f2} \cdot (1 + \psi_{1f} \cdot j_{f2}^2) \right]^{-1} = 0.60746$$

12. Кутова піддатливість фланців, $1/(МН \cdot м)$:

$$Y_{f1} := \frac{[1 - \omega_{f1} \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{f1})] \cdot \psi_{2f}}{hf1^3 \cdot E} = 0.705$$

$$Y_{f2} := \frac{[1 - \omega_{f2} \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{f1})] \cdot \psi_{2f}}{hf2^3 \cdot E} = 0.705$$

13. Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання, м:

$$L_b := hf1 + hf2 + h + 0.28 \cdot d_b = 0.058$$

14. Лінійна піддатливість прокладки:
неметалевої:

$$y_n := \frac{h}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b \cdot E \cdot 10^{-3}} = 4.307 \times 10^{-4}$$

металевої:

$$y_{n1} := 0$$

15. Площа поперечного перерізу болта, $м^2$:

$$f_b := 0.785 \cdot d_o^2 = 4.153 \times 10^{-4}$$

16. Лінійна піддатливість болтів, $м/МН$:

$$y_b := \frac{L_b}{E_b \cdot f_b \cdot Z_b} = 3.612 \times 10^{-5}$$

17. Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_f := \left[y_n + y_b + 0.25 \cdot (Y_{f1} + Y_{f2}) \cdot (D_b - D_{cn})^2 \right]^{-1} = 781.625$$

18. Параметр жорсткості фланця, $1/МН$:

$$B_{f1} := Y_{f1} \cdot (D_b - D - S_0) = 0.05078$$

$$B_{f2} := Y_{f2} \cdot (D_b - D - S_0) = 0.051$$

19. Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$y := A_f \cdot y_b = 0.028$$

20. Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_f := A_f \cdot [y_b + 0.25 \cdot (B_{f1} + B_{f2}) \cdot (D_b - D_{cn})] = 0.981$$

Б. Розрахунок болтів фланцевого з'єднання

21. Рівнодіюча внутрішнього тиску, МН:

$$Q_g := 0.785 \cdot D_{cn}^2 \cdot P = 0.05$$

					ЛН51.06534.02.001 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Реакція прокладок в робочих умовах, МН:

$$R_n := 2 \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b_e \cdot m \cdot P = 0.01$$

23. Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання, МН:

$$Q_{tf} := y \cdot Z_b \cdot f_b \cdot E_b \cdot (\alpha_{tf} \cdot t - \alpha_{tb} \cdot 0.95 \cdot t) = 0.019$$

24. Монтажні болтові навантаження фланцевого з'єднання на різних умовах розрахунку, МН:

$$P_{b1'} := \pi \cdot D_{cn} \cdot b_e \cdot q = 0.261$$

$$P_{b1''} := \alpha_f \cdot (Q_g + 0) + R_n + \frac{4 \cdot M}{D_{cn}} = 0.06$$

$$P_{b1'''} := 0.4 \cdot \sigma_b \cdot Z_b \cdot f_b = 0.432$$

25. Розрахункове монтажне болтове навантаження, МН:

$$P_{b1} := \max(P_{b1'}, P_{b1''}) = 0.261$$

26. Умова міцності прокладки / перевіряється тільки для неметалевої прокладки:

$$q := \frac{P_{b1}}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b} = 10.954$$

27. Болтове навантаження за робочих умов, МН:

$$P_{b2} := P_{b1} + (1 - \alpha_f) \cdot (Q_g + 0) + Q_{tf} = 0.281$$

28. Додаткова умова

При $Q_t < 0$

$$\sigma_t \cdot Z_b \cdot f_b - Q_{tf} = 1.21$$

$$P_{b2} > P_{b1}$$

$$P_{b2} = 0.281$$

29. Розрахункове навантаження на болти, МН:

$$P_{bf} := \max(P_{b1}, P_{b2}) = 0.281$$

30. Напруження розтягання болтів за робочих умов, МПа:

$$\sigma_{b20} := \frac{P_{b1}}{Z_b \cdot f_b} = 31.426$$

31. Напруження розтягання болтів за умов монтажу, МПа:

$$\sigma_{bt} := \frac{P_{b2}}{Z_b \cdot f_b} = 33.887$$

32. Скручуючий момент, виникає при затягуванні гайок:

$$M_{скр} := f_l \cdot \frac{P_{bf}}{Z_b} \cdot d_b = 2.814 \times 10^{-5}$$

33. Дотичне напруження в болтах, МПа:

$$\tau_b := \frac{M_{скр}}{0.2 \cdot d_o^3} = 11.566$$

34. Еквівалентні напруження в болтах, МПа:

$$\sigma_{be} := \sqrt{\sigma_{b20}^2 + 3 \tau_b^2} = 37.268$$

$$\sigma_{bet} := \sqrt{\sigma_{bt}^2 + 3 \tau_b^2} = 39.366$$

35. Умови міцності

Умова виконується $\sigma_b \geq \sigma_{be}$, $\sigma_{bt} \geq \sigma_{bet}$

$$130 \geq 81,595$$

$$123.3873 \geq 118.883$$

В. Розрахунок фланців на міцність

36. Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за умов монтажу, МН*м:

$$M_{o1f} := 0.5 \cdot P_{b1} \cdot (D_b - D_{cn}) = 6.264 \times 10^{-3}$$

37. Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов, МН*м:

					ЛН51.06534.02.001 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{02f} := 0.5 \cdot [P_{b2} \cdot (D_b - D_{cn}) + Q_g \cdot (D_{cn} - D - S_0)] \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} = 7.456 \times 10^{-3}$$

38. Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця, МН*м:

$$M_{of} := \max(M_{01f}, M_{02f}) = 7.456 \times 10^{-3}$$

39. Максимальні напруження в перерізі

Розрахунковий діаметр, м:

$$D = 0.6$$

$$20 \cdot S_0 = 0.16$$

$$D' := D = 0.6$$

$$\sigma_{f1} := \frac{\psi_{3f} \cdot T_f \cdot M_{of} \cdot \omega_{f1}}{D' \cdot (S_0 - c)^2} = 298.158$$

$$T_f = 1.837$$

$$\omega_{f1} = 0.607$$

$$M_{of} = 7.456 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{f2} := \frac{\psi_{3f} \cdot T_f \cdot M_{of} \cdot \omega_{f2}}{D' \cdot (S_0 - c)^2} = 298.158$$

40. Кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту M_0 , МПа:

$$\sigma_{kf1} := \frac{M_{of} \cdot [1 - \omega_{f1} \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{f1})] \cdot \psi_{2f}}{D \cdot h_{f1}^2} = 42.705$$

$$\sigma_{kf2} := \frac{M_{of} \cdot [1 - \omega_{f2} \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{f2})] \cdot \psi_{2f}}{D \cdot h_{f2}^2} = 42.705$$

41. Кільцеві та меридіональні напруження у втулці фланців від дії внутрішнього тиску, МПа:

$$\sigma_{xf1} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} = 7.038$$

$$\sigma_{yf1} := \frac{P \cdot D}{4 \cdot (S_0 - c)} = 3.519$$

42. Еквівалентні напруження в перерізі S_1 фланців, МПа:

$$\sigma_{ef1} := \sqrt{(\sigma_{f1} + \sigma_{yf1})^2 + \sigma_{xf1}^2 - (\sigma_{f1} + \sigma_{yf1}) \cdot \sigma_{xf1}} = 298.22$$

$$\sigma_{ef2} := \sqrt{(\sigma_{f2} + \sigma_{yf1})^2 + \sigma_{xf1}^2 - (\sigma_{f2} + \sigma_{yf1}) \cdot \sigma_{xf1}} = 298.22$$

50. Умови міцності фланців:

$$\sigma_{f1sc\phi} := 0.003 \cdot E \cdot \phi = 526.203$$

$$\sigma_{ef1} \leq \sigma_{f1sc} \cdot \phi$$

$$297.461 \leq 526.203$$

$$\sigma_{ef2} \leq \sigma_{f2sc} \cdot \phi$$

$$297.461 \leq 526.203$$

Умови міцності виконуються

51. Умови герметичності:

$$\sigma_{kf1} = 42.705$$

$$\frac{\sigma_{kf1} \cdot D}{E \cdot h_{f1}} = 0.005$$

$$\Theta = 0.009$$

$$\frac{\sigma_{kf2} \cdot D}{E \cdot h_{f2}} = 0.005$$

$$\Theta = 0.009$$

Умови герметичності виконуються

Результати перевірного розрахунку фланцевого з'єднання приведені в таблиці Б.2.

Таблиця Б.2 – результати розрахунку

Найменування величини	Позначення	Числове значення	Розмірність
1	2	3	4
Розрахункова товщина стінки	θ	0,0087	
Виконавча товщина стінки	θ	0,0087	